

1336

EXPEDIENTE PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA LA COMUNA DE VALDIVIA

Se deja constancia, de la incorporación de información complementaria relativa a Resumen ejecutivo Inventario de emisiones Atmosféricas para la comuna de Valdivia (Folios 577 al 600 del expediente), con fecha 05 de abril de 2017.

De esta forma se deja constancia, la incorporación de:

Folio 1337 al 1647, Inventario de Emisiones Atmosféricas para la comuna de Valdivia.

1336

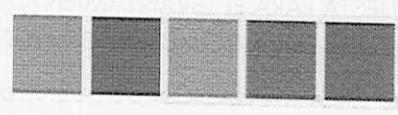
1336 vta

1338

1337

# CAPITULO I

## Fuentes de Área: Combustión Residencial de Leña



Informe Elaborada para:  
SEREMI DEL MEDIO AMBIENTE  
REGIÓN DE LOS RÍOS  
GOBIERNO DE CHILE

**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... 3

ÍNDICE DE TABLAS ..... 4

1 ALCANCES DEL CAPÍTULO: INVENTARIO DE EMISIONES PARA COMBUSTIÓN RESIDENCIAL DE LEÑA ..... 8

2 ANTECEDENTES GENERALES ASOCIADOS A LA COMBUSTIÓN RESIDENCIAL DE LEÑA .... 10

2.3 DISCUSIÓN DE LOS INVENTARIOS DE EMISIONES ..... 12

    2.3.2 POSIBLES FUENTES DE ERROR DETECTADAS EN EL DESARROLLO DE LOS INVENTARIOS ..... 17

3 METODOLOGÍAS UTILIZADAS PARA ESTIMAR EMISIONES PROVENIENTES DE LA COMBUSTIÓN RESIDENCIAL DE LEÑA..... 21

4 RECOPIACIÓN Y SELECCIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN PARA SU APLICACIÓN REPRESENTATIVA EN EL INVENTARIO DE EMISIONES DE VALDIVIA, AÑO BASE 2013..... 24

    4.1 ESTUDIO Y ANÁLISIS DE FACTORES DE EMISIÓN UTILIZADOS EN CHILE ..... 24

    4.2 ESTUDIO Y ANÁLISIS DE NUEVOS FACTORES DE EMISIÓN DISPONIBLES ..... 26

    4.3 PROPUESTA DE FACTORES DE EMISIÓN A UTILIZAR ..... 43

5 DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE ACTIVIDAD DE FUENTES DE ÁREA ASOCIADAS AL CONSUMO RESIDENCIAL DE LEÑA ..... 48

    5.1 DESARROLLO DE ENCUESTA PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE CONSUMO RESIDENCIAL DE LEÑA EN LA COMUNA DE VALDIVIA..... 48

    5.2 DISEÑO DE MUESTREO PARA APLICACIÓN DE LA ENCUESTA..... 50

    5.3 RESULTADOS DE LA ENCUESTA ..... 56

6 ESTIMACIÓN DE EMISIONES ..... 61

    6.1 CONSIDERACIONES Y AJUSTES PARA EL ANÁLISIS DE RESULTADOS ..... 61

    6.2 NIVELES DE ACTIVIDAD ..... 64

    6.3 CÁLCULO DE EMISIONES ..... 69

    6.4 PROYECCIÓN DE EMISIONES ..... 77

7 CONCLUSIONES ..... 82

8 BIBLIOGRAFÍA ..... 85

9 ANEXOS ..... 87

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Principales fuentes emisoras de MP2,5, en Chile, y su relevancia en el sur del país. .... 8

Figura 2. Consumo anual de leña según tipología de artefactos (m3 estéreos)..... 13

Figura 3. Estimación de emisiones de MP10 para diferentes ciudades (Ton/año)..... 14

Figura 4. Emisiones de MP10 para diferentes ciudades según unidad de consumo de leña (kg MP10/m3 leña). .... 15

Figura 5. Relación entre las emisiones de MP10 y el consumo de leña de Temuco y PLC. .... 17

Figura 6. F.E. de MP10 para artefactos operados con distinta humedad de leña y regulación de tiraje. .... 26

Figura 7. F.E. de MP10 para artefactos operados con 7 diferentes especies de leña seca y tiraje cerrado..... 30

Figura 8. F.E. de MP10 para artefactos operados con 7 diferentes especies de leña seca y tiraje abierto..... 30

Figura 9. F.E. de MP10 para artefactos operados con 7 diferentes especies de leña seca y tiraje medio. .... 31

Figura 10. F.E. de MP10 para artefactos operados con 7 diferentes especies de leña húmeda y tiraje cerrado..... 33

Figura 11. F.E. de MP10 para artefactos operados con 7 diferentes especies de leña húmeda y tiraje abierto..... 33

Figura 12. F.E. de MP10 para artefactos operados con 7 diferentes especies de leña húmeda y tiraje medio. .... 34

Figura 13. Caracterización de artefactos provenientes del programa de recambio de Coyhaique. .... 37

Figura 14. Carpeta con materiales de terreno utilizada por encuestadores. .... 55

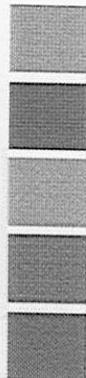
Figura 15. Delimitación de zonas de crecimiento en la comuna de Valdivia, y conteo de viviendas. .. 62

Figura 16. Aporte porcentual de cada tipo de artefacto para los distintos contaminantes..... 72

Figura 17. Aporte porcentual de humedad de leña y modo de operación a emisiones estimadas. .... 76

Figura 18. Comparación de emisiones generadas por combustión residencial de leña en la comuna de Valdivia, para caso base de los años 2013 y 2030. .... 80

Figura 19. Comparación de emisiones generadas por combustión residencial de leña en la comuna de Valdivia, para caso base del año 2013 y escenario proyectado con PDA al año 2030..... 81



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contaminantes considerados para la estimación de emisiones.....	9
Tabla 2. Estimaciones de consumo de leña (m3 estéreos) presentados en los inventarios desarrollados previamente en ciudades del sur de Chile.....	12
Tabla 3. Estimaciones de consumo de leña (Ton/año) según tipo de artefacto identificado para la zona de estudio en cada uno de los inventarios indicados. ....	13
Tabla 4. Estimaciones de consumo de leña (Ton/año) según tipo de artefacto identificado para la zona de estudio en cada uno de los inventarios indicados. ....	14
Tabla 5. Comparación de las emisiones estimadas para la fuente combustión residencial de leña (CRL), respecto del total estimado en los inventarios desarrollados previamente en las comunas de Temuco y Padre Las Casas. ....	16
Tabla 6. Distribución de viviendas según tipo, de acuerdo a clasificación del Censo 2002.....	18
Tabla 7. F.E. para combustión residencial de leña, empleados por DICTUC y CENMA en la actualización del inventario de emisiones para el año base 2005 y 2009, respectivamente.....	19
Tabla 8. Antecedentes para la caracterización del consumo residencial de leña y estimación de emisiones en ciudades del sur de Chile, tomadas de los inventarios de emisión disponibles.....	24
Tabla 9. F.E. de MP (g/kg) para combustión residencial de leña, utilizados en los inventarios desarrollados para diferentes ciudades del sur de Chile que utilizan leña para efectos de calefacción y cocción de alimentos. ....	25
Tabla 10. FE de MP (g/kg) obtenidos para diferentes artefactos operados con tiraje cerrado y leña seca de diferentes especies, en Laboratorio de Emisiones de la UC Temuco.....	29
Tabla 11. FE de MP (g/kg) obtenidos para diferentes artefactos operados con tiraje abierto y leña seca de diferentes especies, en Laboratorio de Emisiones de la UC Temuco.....	29
Tabla 12. FE de MP (g/kg) obtenidos para diferentes artefactos operados con tiraje medio y leña seca de diferentes especies, en Laboratorio de Emisiones de la UC Temuco.....	29
Tabla 13. FE de MP (g/kg) obtenidos para diferentes artefactos operados con tiraje cerrado y leña húmeda de diferentes especies, en Laboratorio de Emisiones de la UC Temuco.....	32
Tabla 14. FE de MP (g/kg) obtenidos para diferentes artefactos operados con tiraje abierto y leña húmeda de diferentes especies, en Laboratorio de Emisiones de la UC Temuco.....	32
Tabla 15. FE de MP (g/kg) obtenidos para diferentes artefactos operados con tiraje medio y leña húmeda de diferentes especies, en Laboratorio de Emisiones de la UC Temuco.....	32
Tabla 16. Factores de Emisión (g/kg) y tasa de emisión (g/h) de MP obtenido de los ensayos a un grupo de artefactos provenientes del programa de recambio de la ciudad de Coyhaique (2011), previo a chatarrización, en Laboratorio de Emisiones UCT, 2012. ....	35
Tabla 17. Factores de Emisión (g/kg) y tasa de emisión (g/h) de MP obtenido de los ensayos a un calefactor de Industrias Gross denominado Sirius II, en Laboratorio de Emisiones UCT, 2012.....	38
Tabla 18. Factores de Emisión (g/kg) y tasa de emisión (g/h) de MP obtenidos de los ensayos de calefactores Efel, Haas&Sohn, Amesti, Bosca y Alcazar en laboratorio OMNI-Test de USA.....	39
Tabla 19. Factores de Emisión (g/kg) y tasa de emisión (g/h) de MP obtenidos de los ensayos de calefactores Efel, Haas&Sohn, Amesti, Bosca y Alcazar y un prototipo en Laboratorio Optiflama, UDEC, 2012. ....	39

Tabla 20. Factores de Emisión (g/kg) y tasa de emisión (g/h) de MP obtenidos de los ensayos a equipos marca Bosca, Amesti, Pucón, Gerten, y Gross, por laboratorio SERPRAM, Chile 2006. ....	40
Tabla 21. Factor de emisión de contaminantes criterio para combustión residencial de leña. ....	43
Tabla 22. Factores de emisión de MP10 para combustión residencial de leña. ....	44
Tabla 23. Factores de emisión de MP2,5 <sup>1</sup> para combustión residencial de leña. ....	45
Tabla 24. Factores de emisión de CO para combustión residencial de leña. ....	46
Tabla 25. Factores de emisión de NOx para combustión residencial de leña. ....	46
Tabla 26. Factores de emisión de SO2 para combustión residencial de leña. ....	47
Tabla 27. Factores de emisión de COVs para combustión residencial de leña. ....	47
Tabla 28. Factores de emisión de HAPs para combustión residencial de leña. ....	47
Tabla 29. Distribución de viviendas urbanas en la comuna de Valdivia, según Censo 2002. ....	51
Tabla 30. Esquema de muestreo a utilizar. ....	52
Tabla 31. Diseño muestral para la comuna de Valdivia. ....	54
Tabla 32. Nomenclatura para identificar la unidad de análisis territorial. ....	56
Tabla 33. Resumen campaña de toma de encuestas en comuna de Valdivia, 2014. ....	56
Tabla 34. Consumo promedio de leña por vivienda (m <sup>3</sup> /año), y proporción de uso (%), según clasificación de viviendas en la comuna de Valdivia. ....	57
Tabla 35. Distribución porcentual del stock de artefactos a leña, según clasificación de viviendas en la comuna de Valdivia. ....	57
Tabla 36. Antigüedad del parque de artefactos a leña presente en la comuna de Valdivia. ....	58
Tabla 37. Manipulación del ingreso de aire de combustión en artefactos de combustión lenta, según jornadas de uso del artefacto. ....	59
Tabla 38. Consumo promedio de leña por vivienda (m <sup>3</sup> /año), y proporción de uso (%), según clasificación de viviendas en los distritos censales de la comuna de Valdivia. ....	60
Tabla 39. Distribución de viviendas según clasificación utilizada en el diseño muestral, según zona censal de la comuna de Valdivia (N°). ....	63
Tabla 40. Consumo de leña según zona censal de la comuna de Valdivia (m <sup>3</sup> /año). ....	65
Tabla 41. Distribución del tipo de artefactos utilizados, según Zona Censal de la comunas de Valdivia, año base 2013. ....	66
Tabla 42. Cantidad de artefactos que consumen leña en uso en la comuna de Valdivia, año 2013. .	67
Tabla 43. Consumo de leña (m <sup>3</sup> ) según tipo de artefactos en uso en la comuna de Valdivia, año 2013. ....	67
Tabla 44. Consumo de leña (m <sup>3</sup> /año) según Distrito Censal de la comuna de Valdivia, año 2013. ....	68
Tabla 45. Cantidad de artefactos según Distrito Censal de la comuna de Valdivia, año 2013. ....	68
Tabla 46. Densidad de leña de especie nativa y exótica para 3 condiciones de humedad. ....	69
Tabla 47. Distribución del contenido de humedad de la leña utilizada en la comuna de Valdivia. ....	70
Tabla 48. Operación de artefactos con ingreso de aire primario de combustión cerrado. ....	71
Tabla 49. Emisiones estimadas para la fuente combustión residencial de leña, según tipología de artefactos en uso en la comuna de Valdivia, año 2013. ....	71
Tabla 50. Emisiones de MP10 por Zona Censal de la comunas de Valdivia, año base 2013 (Ton/año). ....	73

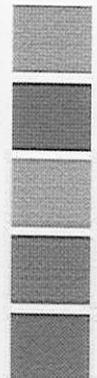


Tabla 51. Emisiones de MP2,5 por Zona Censal de la comunas de Valdivia, año base 2013 (Ton/año)..... 74

Tabla 52. Emisiones atmosféricas por Zona Censal de la comunas de Valdivia, año base 2013 (Ton/año)..... 75

Tabla 53. Emisiones atmosféricas según calidad de leña utilizada y modo de operación de los artefactos presentes en la comunas de Valdivia, año base 2013 (Ton/año)..... 76

Tabla 54. Proyección de emisiones del caso base, año 2025, según tipo de artefacto. .... 79

Tabla 55. Proyección de emisiones del caso base, año 2030, según tipo de artefacto. .... 79

Tabla 56. Proyección de emisiones del escenario regulado, año 2025, según tipo de artefacto. ... 80

Tabla 57. Proyección de emisiones del escenario regulado, año 2030, según tipo de artefacto. ... 81



## ABREVIACIONES Y ACRÓNIMOS

EPA	Environmental Protection Agency
CARB	California Air Resources Board
NPI	National Pollutant Inventory
EEA	Environmental European Agency
NEI	National Emission Inventory
TCEQ	Texas Commission on Environmental Quality
EIIP	Emission Inventory Improvement Program
CEMS	Continuos Emission Monitoring System
PEMS	Predictive Emission Monitoring System
CONAMA	Comisión Nacional del Medio Ambiente
D.S.	Decreto Supremo
PDA	Plan de Descontaminación Atmosférica
F.E.	Factor de Emisión
N.A.	Nivel de Actividad
MP	Material Particulado
MP10	Material particulado de diámetro $\leq 10 \mu\text{m}$
MP 2.5	Material particulado de diámetro $\leq 2.5 \mu\text{m}$
BC	Black Carbon
OC	Organic Carbon
TSP	Partículas totales suspendidas (por sus siglas en inglés)
COVs	Compuestos Orgánicos Volátiles
COVNM	Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
NO <sub>x</sub>	Óxidos de Nitrógeno
NH <sub>3</sub>	Amoniaco
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
TOG	Total Organic Gases
TNMHC	Hidrocarburos totales no Metánicos (por sus siglas en inglés)
ROG	Gases Orgánicos Reactivos (por sus siglas en inglés)
HAP	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
CH <sub>4</sub>	Metano
SO <sub>x</sub>	Óxidos de Azufre
O <sub>3</sub>	Ozono Troposférico
PTAS	Planta de tratamiento de aguas servidas
GLP	Gas licuado de petróleo
GN	Gas Natural



## 1 ALCANCES DEL CAPÍTULO: INVENTARIO DE EMISIONES PARA COMBUSTIÓN RESIDENCIAL DE LEÑA

El presente capítulo expone los antecedentes asociados al desarrollo del inventario de emisiones para la fuente combustión residencial de leña de la comuna de Valdivia. El documento proyecta servir de insumo para la gestión que realiza el Ministerio de Medio Ambiente, en áreas urbanas con problemas de contaminación atmosférica.

Para el presente estudio, y en base a todos los antecedentes disponibles a nivel nacional, y particularmente en el área de estudio, se consideró pertinente desarrollar un capítulo exclusivo para la fuente combustión residencial de leña. Esto, ya que si bien según las clasificaciones internacionales, esta fuente se agrupa en la categoría fuente de área<sup>1</sup>, la relevancia que tiene de manera individual en la zona centro-sur del Chile (ver Figura 1), justifica un apartado específico en el que se pueda profundizar mejor respecto de las variables que inciden en la estimación de emisiones.

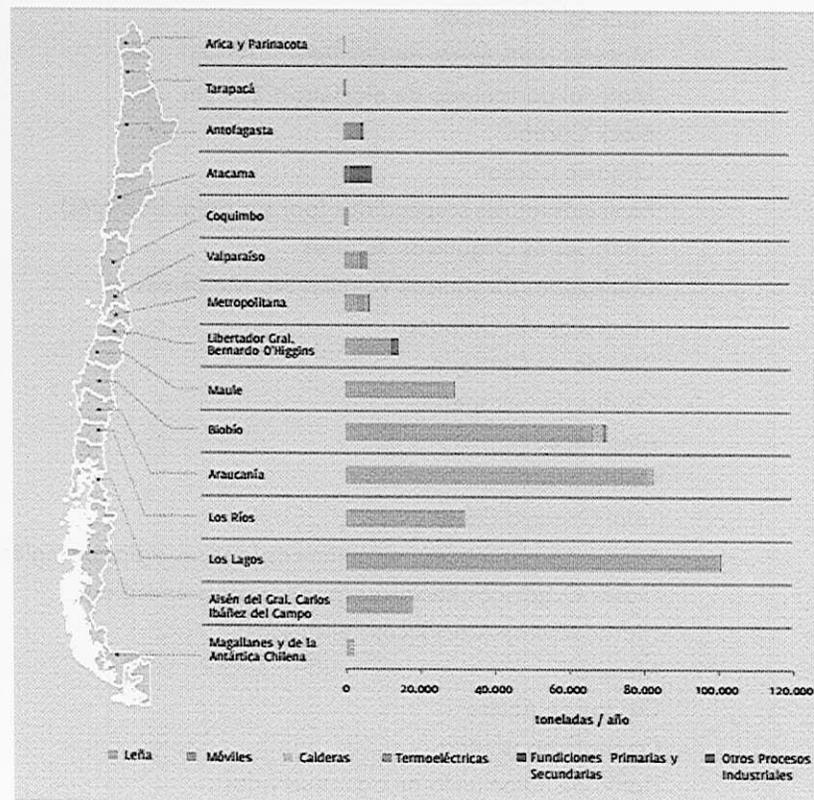


Figura 1. Principales fuentes emisoras de MP2,5, en Chile, y su relevancia en el sur del país.  
Fuente: Primer reporte anual del estado del medio ambiente, MMA, 2014.

<sup>1</sup> Se entiende por fuentes de área, aquellas fuentes existentes dentro de un área que al ser demasiado pequeñas (emisión menor a 100 Ton/año) no es posible registrarlas individualmente, pero que de forma colectiva tienen un impacto significativo (Manual de inv. México, 1997).

En el transcurso de este capítulo, el consultor presenta antecedentes recopilados a nivel nacional e internacional respecto a las metodologías de estimación de emisiones, y sobre estos, desarrolla un análisis de las variables que generan puntos de inflexión en los resultados de estimación de emisiones, proponiendo los cambios que considera pertinentes para su aplicación en el inventario correspondiente a la fuente combustión residencial de leña de la comuna de Valdivia. Con esto, el documento proyecta servir como material de consulta en aspectos referentes a las metodologías de cálculo, la determinación de los niveles de actividad, y la definición de los factores de emisión (F.E.).

El capítulo contiene las estimación de emisiones de: material particulado de diámetro aerodinámico menores a 10  $\mu\text{m}$  (MP10) y 2.5  $\mu\text{m}$  (MP2.5), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), compuestos orgánicos volátiles (COVs) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs). Presenta estimaciones en forma global y desagregada a nivel de zona censal para el área urbana de la comuna de Valdivia.

Tabla 1. Contaminantes considerados para la estimación de emisiones.

Contaminante	MP10	MP2,5	CO	NOx	SOx	COVs	HAPs
--------------	------	-------	----	-----	-----	------	------

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, al término del capítulo se presenta una proyección de las emisiones estimadas para el año base 2013, considerando un horizonte de 10 y 15 años, mediante 2 escenarios de evaluación. Esto, con la finalidad de darle una perspectiva en el tiempo, considerando que actualmente la Seremi del Medio Ambiente de la región de Los Ríos se encuentra elaborando un Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) para MP2,5 del cual se espera la implementación de una serie de medidas que permita disminuir los actuales niveles de emisiones a la atmosfera. Los escenarios a evaluar serán, a grandes rasgos:

- Escenario base proyectado, sin PDA: considera que las tendencias en el uso de leña mantienen el actual mecanismo de evolución, proyectando variaciones únicamente en función del aumento del parque de viviendas.
- Escenario regulado proyectado, con PDA: a lo anterior, se sumará el análisis e incorporación de algunas variantes relacionadas con las principales medidas que contendrá el PDA de Valdivia, a través de sus líneas estratégicas.

## 2 ANTECEDENTES GENERALES ASOCIADOS A LA COMBUSTIÓN RESIDENCIAL DE LEÑA

Las estufas de uso residencial, aunque se consideren individualmente como pequeñas fuentes, son numerosas y tienen el potencial para contribuir significativamente a la contaminación del aire en ciudades densamente pobladas, especialmente en los países en desarrollo [1].

### 2.1 CONSUMO DE LEÑA

El consumo residencial de leña es masivo en gran parte del territorio nacional. En efecto, su uso se extiende con significativa presencia desde la V región de Valparaíso, hasta la XI región de Aysén, representando en promedio cerca del 59% del consumo de energía [2].

La leña proviene fundamentalmente del bosque nativo, y se advierte además que su consumo es mayor a medida que se avanza hacia el sur del país. Calefacción, cocción y calentamiento de agua son los usos finales más importantes a los cuales ésta es dedicada. Esto se sustenta básicamente en el menor precio en relación a otros energéticos, pero también, en base a un importante arraigo cultural observado especialmente hacia el sur.

Lamentablemente, 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. Esto ha derivado en los impactos ambientales negativos que la sindicación como uno de los factores más importantes en el deterioro de la calidad del aire de las principales ciudades desde la RM a la XI Regiones.

Con ánimo de revertir esto último, durante el último tiempo diversos actores vinculados al sector de la biomasa, sugieren que el uso de esta representa una oportunidad de sustentabilidad y autonomía energética para el país, emplazando al Estado de Chile para que tome un rol más decidido en reconocerla como un combustible, y en avalar su rol estratégico en la matriz energética nacional. Solo así se podrá avanzar en su regulación, y contrarrestar los impactos ambientales negativos.

#### **Consumo de leña en Valdivia**

Se estima que el consumo residencial de leña en el área urbana de Valdivia bordea los 440.000 m<sup>3</sup> anuales. En efecto, las estimaciones obtenidas a través del "Estudio de consumo domiciliario urbano de material leñosos en Valdivia" [3], ejecutado por el Instituto Forestal de Chile, INFOR, señalan un consumo promedio de 11,4 m<sup>3</sup> estéreos por vivienda, lo cual explica las elevadas emisiones contaminantes generadas por esta fuente residencial.

El desarrollo del presente inventario de emisiones es una oportunidad importante para actualizar la estimación de consumo residencial de leña en la comuna de Valdivia, por cuanto

su diseño metodológico incorpora variables que apuntan específicamente a caracterizar dicho consumo para efectos de estimación de emisiones.

## 2.2 FACTORES QUE INCIDEN EN LAS EMISIONES

Las emisiones provenientes de la combustión residencial de leña son muy variables y dependen de muchos factores. La experiencia y la evidencia disponible, señalan que los factores más determinantes en la generación de elevadas tasas de emisión de contaminantes a partir de la combustión residencial de leña son: las características de la leña, los equipos utilizados para la combustión de esta, y las prácticas operativas ejercidas por parte de los usuarios. En relación a esto:

**Características de la leña:** Las características del combustible empleado, en este caso leña, es una variable crítica en la generación de emisiones. Respecto a la leña utilizada en los artefactos de combustión residencial, resulta relevante: el contenido de humedad, y la carga de leña introducida en la caja de fuego. Esto quedó demostrado en los ensayos realizados por Thomas Nussbaumer, en Suiza [4], donde a través de ensayos realizados en calefactores a leña de fabricación nacional, demostró que las emisiones aumentan hasta 60 veces, al pasar de una operación ideal (que considera leña seca), y una operación típica (que considera leña con mayor contenido de humedad, y uso de palos más grandes que ocupan mayor espacio dentro de la caja de fuego).

**Equipos de combustión:** las diferencias de diseño de los equipos de combustión de leña, impactan de manera significativa en la calidad del proceso de combustión. Así, en un extremo existen artefactos tipo chimenea, que no disponen de mecanismos de control del ingreso de aire de combustión, resultando ser menos eficientes, dado a que no permiten desarrollar los mecanismos que favorezcan un proceso de combustión óptimo, esto es, altas temperaturas, turbulencia de la mezcla aire-combustible, y tiempo de residencia. En el otro extremo, se pueden encontrar artefactos altamente eficientes, factibles de operar únicamente bajo condiciones ideales, donde las emisiones contaminantes son mínimas.

**Prácticas operativas:** Las emisiones mayores son el resultado de una velocidad de combustión lenta y una intensidad de la llama inferior. Una mayor intensidad de llama en la combustión secundaria favorece menores emisiones contaminantes. Por otro lado, se tiene que las condiciones que promueven una velocidad de combustión rápida y la destrucción de la materia volátil, desprendida en las primeras fases del proceso de combustión, repercuten en menores tasas de emisión de contaminantes [5].

### 2.3 DISCUSIÓN DE LOS INVENTARIOS DE EMISIONES

Los inventarios de emisiones realizados en Chile, que consideran la estimación de emisiones para la fuente combustión residencial de leña, son aquellos desarrollados principalmente en la zona centro sur del país, justamente donde se concentran los principales centros de consumo de leña como fuente de energía.

A continuación se presenta un análisis de los principales antecedentes y resultados exhibidos en los inventarios de Rancagua, Talca, Chillán, Temuco y Coyhaique [6, 7, 8, 9, 10]. Esto, a objeto de establecer un patrón que permita relacionar los resultados obtenidos con las variables empleadas en su determinación. La metodología empleada en estos inventarios se basó en el método de F.E., que estima emisiones a través de la multiplicación de un F.E. representativo de la tecnología de combustión utilizada, por el nivel de consumo de leña vinculado a estas, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$E = FE \times NA$$

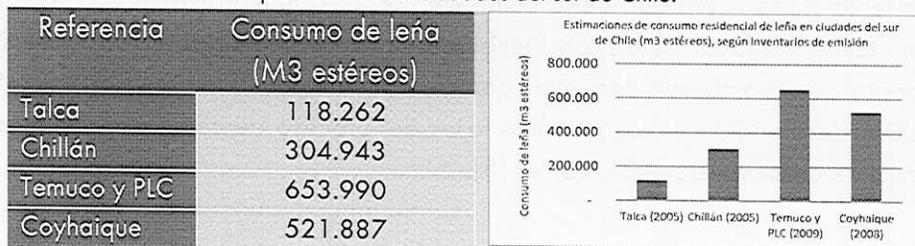
Ecuación 1

Dónde:

- E : Emisiones del contaminante en estudio (Ton/año).
- FE : Factor de emisión del contaminante en estudio, en función del nivel de actividad que caracteriza a la fuente (Ton/kg leña).
- NA : Nivel de actividad. Corresponde al consumo promedio de leña (Kg/año).

Luego, para el desarrollo de los inventarios mencionados, y con objeto de obtener información representativa y útil para el uso de factores de emisión, los responsables de su ejecución realizaron encuestas públicas a la ciudadanía, resguardando criterios de representatividad y nivel de confianza estadísticamente válidos. Los resultados obtenidos en dichos inventarios se presentan en las Tablas siguientes.

Tabla 2. Estimaciones de consumo de leña (m3 estéreos) presentados en los inventarios desarrollados previamente en ciudades del sur de Chile.



Fuente: Elaboración propia.

La Tabla siguiente muestra el consumo de leña distribuido según el tipo de artefactos donde es combustionado.

Tabla 3. Estimaciones de consumo de leña (Ton/año) según tipo de artefacto identificado para la zona de estudio en cada uno de los inventarios indicados.

Referencia	Cocinas	Salamandras	Comb. lenta	Chimenea
Talca (2006)	8.486	9.049	44.662	1.623
Chillán (2005)	22.388	21.404	80.940	5.367
Temuco y PLC (2009)	117.436	25.560	177.386	5.806
Coyhaique (2008)	107.410	968	95.798	5.322

Fuente: Elaboración propia, a partir de información reportada en inventarios analizados.

En la siguiente figura se presenta de manera gráfica el consumo de leña según tipo de artefactos utilizados en ciudades del sur de Chile. Se observa que para todos ellos, la comuna de Temuco y Padre Las Casas reporta el mayor consumo, en todas las tecnologías de combustión empleadas.

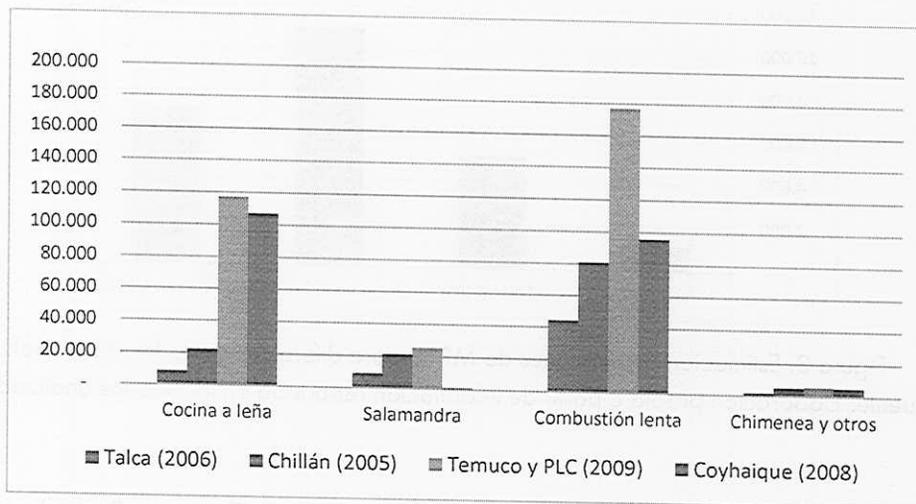


Figura 2. Consumo anual de leña según tipología de artefactos (m3 estéreos).

Fuente: Elaboración propia a partir de información reportada en inventarios analizados.

Por otra parte, los factores de emisión empleados para determinar las emisiones de MP asociado a la combustión residencial de leña, son mostrados de manera genérica en la siguiente Tabla.

Tabla 4. Estimaciones de consumo de leña (Ton/año) según tipo de artefacto identificado para la zona de estudio en cada uno de los inventarios indicados.

Artefacto	Humedad (base húmeda)		
	0 - 20 (Típica)	20 - 30	30 - 40
Cocinas a leña	19,2	30,9	90,1
Combustión lenta	15,3	24,7	72,0
Salamandra / Chimenea/ Otro	16,6	26,8	78,0

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, y en función de la disponibilidad de estas variables, se pudieron aplicar las metodologías indicadas al inicio del capítulo para actualizar los inventarios de emisión, haciendo uso de los factores de emisión propuestos en los inventarios desarrollados para cada ciudad. Los resultados obtenidos para la estimación de emisiones en cada uno de los inventarios referidos, son los que se muestran en la Tabla siguiente.

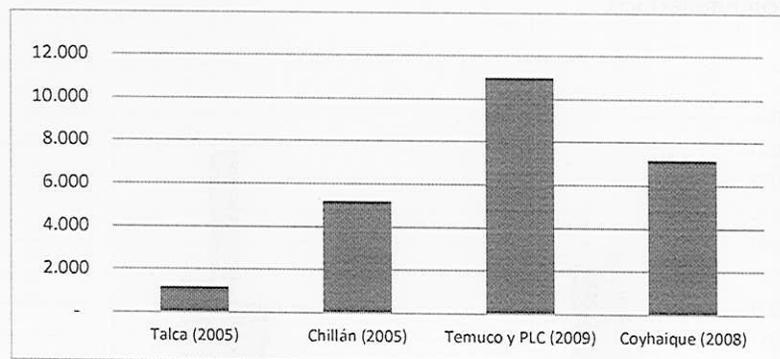


Figura 3. Estimación de emisiones de MP10 para diferentes ciudades (Ton/año).

Fuente: Elaboración propia a partir de información reportada en inventarios analizados.

De lo anterior, se desprende nuevamente que las comunas de Temuco y Padre Las Casas son las que cobran mayor relevancia, dado que presentan mayores emisiones respecto de las emisiones estimadas para otras comunas. A modo de estandarizar un patrón de comparación entre los resultados obtenidos para los diferentes inventarios, se presenta una gráfica que muestra la relación existente entre la estimación de emisiones y la estimación del consumo de leña.

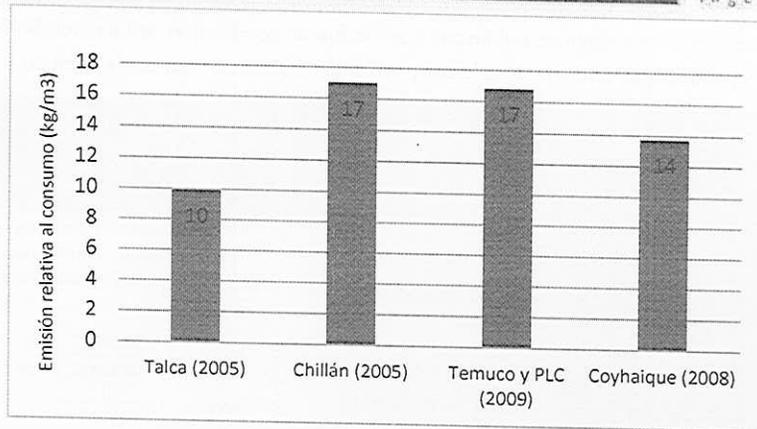


Figura 4. Emisiones de MP10 para diferentes ciudades según unidad de consumo de leña (kg MP10/m<sup>3</sup> leña).  
Fuente: Elaboración propia a partir de información reportada en inventarios analizados.

Se desprende del gráfico anterior, que las emisiones estimadas en los inventarios de Temuco-Padre Las Casas y Chillán, en relación a cada metro cúbico de leña consumida, son ampliamente superiores a las estimadas para las ciudades de Talca y Coyhaique. Esto se puede deber al hecho que ninguno de estos últimos consideró la variable "modo de operación del artefacto", una variable que hace aumentar las emisiones, cuando se demuestra que la operación del usuario no es la adecuada.

A continuación se presenta un análisis más detallado del inventario de Temuco y Padre Las Casas, considerando que este presenta el inventario de emisiones más actualizado, y por cuanto los consumos de leña y estimación de emisiones son más significativos que en el resto de los inventarios analizados.

- "Inventarios de emisión desarrollados en las comunas de Temuco y Padre Las Casas".

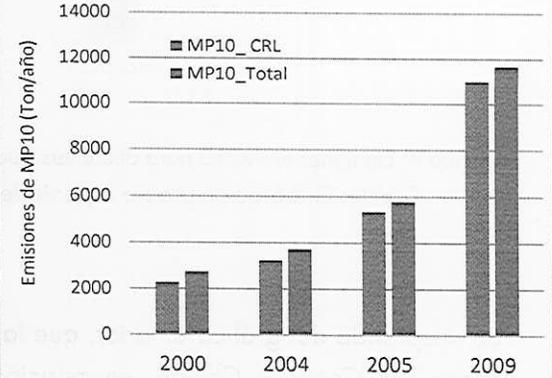
A mediados del año 2000, CONAMA Región de La Araucanía inició un monitoreo continuo de MP10, a través del cual se comprobó la ocurrencia de valores altos de PM10 durante los meses más fríos (abril a septiembre) y que más tarde motivarían el desarrollo de múltiples estudios técnicos para determinar, entre otras cosas, los niveles de contaminación y sus principales fuentes. De esta manera, el año 2000 se realizó el primer inventario de emisiones para las comunas de Temuco y Padre Las Casas [11], el que ha sido actualizado en dos ocasiones, 2005, y 2009 [12, 9].

En la Tabla siguiente se presenta un resumen de los resultados de estimación de emisiones, presentado en el inventario de emisiones del año base 2000, y sus actualizaciones sucesivas. En la Tabla se puede ver reflejada la relevancia de la fuente combustión residencial de leña respecto del total estimado.

Tabla 5. Comparación de las emisiones estimadas para la fuente combustión residencial de leña (CRL), respecto del total estimado en los inventarios desarrollados previamente en las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

Estudio de referencia	Emisiones de MP10 (Emisiones CRL)
Inventario de Emisiones, año base 2000. CENMA, 2002.	2.742 Ton/año (2.282 Ton/año)
Actualización del Inventario de Emisiones, año base 2004. Pedro Sanhueza, 2005.	3.737,7 Ton/año (3.238 Ton/año)
Actualización del Inventario de Emisiones, año base 2005. DICTUC S.A., 2008.	5.797,6 Ton/año (5.375 Ton/año)
Actualización del Inventario de Emisiones, año base 2009. CENMA, 2010.	11.703 Ton/año (11.007 Ton/año)

Relación entre las emisiones totales de MP10 y las generadas por Combustión Residencial de Leña (CRL), según inventarios previos



Año	MP10_CRL (Ton/año)	MP10_Total (Ton/año)
2000	2.282	2.742
2004	3.238	3.737,7
2005	5.375	5.797,6
2009	11.007	11.703

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, existe una variación evidente en los resultados obtenidos en la estimación de emisiones de MP10, con un marcado incremento en las últimas actualizaciones del inventario de emisiones. Más allá de otros análisis que se puedan realizar, estas variaciones no solo tienen que ver con el aumento del consumo de leña, puesto que estas variaciones han evolucionado a menor ritmo, manteniendo cierta tendencia entre los diferentes estudios. La gráfica siguiente permite identificar que no existe una relación directa entre las emisiones estimadas y el consumo de leña, ya que por ejemplo, se observa que para la última actualización, la estimación de emisiones se descuelga completamente del consumo de leña proyectado para el mismo año.

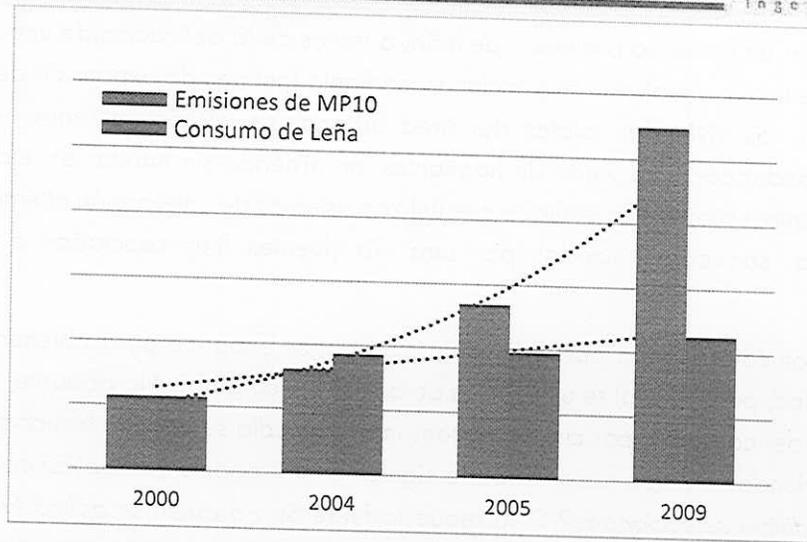


Figura 5. Relación entre las emisiones de MP10 y el consumo de leña de Temuco y PLC.

Nota: Se predefinió una relación 1:1 para el año base, para evidenciar el comportamiento de cada estimación.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de este breve análisis, se considera que a pesar de los esfuerzos realizados en cada actualización, no existe una línea base clara que permita comparar los resultados de uno y otro, ya que cada consultor a cargo de su desarrollo fue incorporando antecedentes disponibles a la fecha de estimación, y variables a las formas de cálculo que derivan en cambios sustanciales en las emisiones estimadas.

Un ejemplo claro de lo anterior, se relaciona con la forma de cálculo empleada al usar el F.E. correspondiente, el cual está determinado específicamente para la quema de leña seca o anhidra, debiendo descontarse su contenido de humedad.

### 2.3.2 POSIBLES FUENTES DE ERROR DETECTADAS EN EL DESARROLLO DE LOS INVENTARIOS

Volviendo a los resultados presentados en la gráfica anterior, y pensando en las situaciones que pudieron generar las variaciones entre las estimaciones de los diferentes inventarios, cabe la posibilidad de que se haya incurrido en errores. Estos errores podrían estar asociados a la estimación de consumo de leña, la identificación y selección de los F.E., y en la aplicación de los mismos.

#### Respecto a la determinación del consumo de leña

Luego de revisar los procedimientos empleados por CENMA para la determinación del consumo de leña, se advierten los siguientes posibles errores de estimación:

Luego de estimar un consumo promedio de leña, a través de la aplicación de una encuesta de consumo residencial, se realizan proyecciones mediante factores de expansión de la muestra, que consideran las viviendas totales del área urbana, sin discriminar entre viviendas no ocupadas (abandonadas, en venta sin habitantes, en arriendo sin habitantes, etc.), viviendas tipo departamento, ubicados en edificios que utilizan sistemas de calefacción alternativos, o que al utilizar leña, son caracterizados por otra vía (fuentes fijas asociadas a caldera de calefacción).

El consumo promedio de leña obtenido en la muestra, se expande para obtener el consumo total de la ciudad, para lo cual se utilizan los datos del Censo 2002. No obstante, esto no sería representativo del consumo, por cuanto el consumo promedio se obtiene básicamente de una muestra de viviendas del tipo casa. Cabe la siguiente interrogante *¿se aplicó encuestas en el piso 10 del edificio seleccionado?* Si la respuesta fuere SI, *¿a quién se aplicó la encuesta, al dueño del departamento o al encargado de operar el sistema de calefacción colectivo?*

En la Tabla siguiente se muestra la distribución del tipo de viviendas presentes en las comunas de Temuco y Padre Las Casas para el año 2002. Luego, cabe destacar que en la última década el número de departamentos se ha incrementó exponencialmente, representando a la fecha, cerca del 20% del total de viviendas. Esto claramente pudiese representar una fuente de error en la estimación del consumo de leña.

Tabla 6. Distribución de viviendas según tipo, de acuerdo a clasificación del Censo 2002.

Leña Seca	N° viviendas	%
VIVIENDAS TOTALES DEL ÁREA URBANA	63.527	100%
Viviendas tipo casa	52.468	82,6%
Viviendas tipo departamento	4.923	7,7%
Viviendas tipo otras	3.805	6,0%
Viviendas no ocupadas <sup>1</sup>	2.331	3,7%

<sup>1</sup> corresponde a viviendas abandonadas, o permanente desocupadas.  
Fuente: Elaboración propia

**Respecto a la pertinencia de los F.E. utilizados**

Los F.E. utilizados por DICTUC y por CENMA para realizar la estimación de emisiones de los años 2005 y 2009 son los mismos. Los antecedentes presentados por CENMA durante la última actualización del inventario indican que no hay nuevos F.E. que incorporar en el análisis, y que por tanto se utilizan los mismos empleados por DICTUC, para así también poder comparar los resultados obtenidos en cada uno de ellos.

Respecto de estos F.E. que son presentados en la Tabla siguiente, se puede decir que estos no tienen ningún acercamiento directo con la realidad nacional, lo que aumenta la incertidumbre

en la estimación. Además, las siguientes observaciones cobran sentido y aumentan la necesidad de buscar F.E. alternativos:

- Corresponden a F.E. propuestos por la EPA, obtenidos a partir de mediciones de artefactos a leña utilizados en EE.UU, hace más de 25 años atrás.
- Fueron determinados bajo condiciones distintas a las presentadas en Chile, en términos de los artefactos de combustión evaluados, el tipo de leña utilizado, y el estado de humedad de esta, únicamente leña seca.
- Los valores proyectados para el uso de leña húmeda fueron realizadas en Chile, mediante el uso de curvas que relacionan la humedad de la leña y el aumento de las emisiones. El estudio que busca esta relación fue desarrollado a fines del año 1988 en Alemania, nuevamente bajo condiciones totalmente distintas a las presentadas en Chile.
- Los F.E. para una mala condición de operación fueron obtenidos del estudio desarrollado por Thomas Nussbaumer en Suiza (4), donde una estufa de fabricación nacional<sup>2</sup> fue evaluada bajo condiciones extremas de mala operación, que no representan la condición de mala operación utilizada en los inventarios nacionales para la estimación de emisiones, la que se determina mediante la aplicación de una encuesta con la pregunta "¿Cómo usa el tiraje de su estufa?".

Tabla 7. F.E. para combustión residencial de leña, empleados por DICTUC y CENMA en la actualización del inventario de emisiones para el año base 2005 y 2009, respectivamente.

Leña Seca	Leña seca (20% b.h.)	Leña húmeda (30% b.h.)	Mala operación
Cocina a leña	19,2	30,9	-
Combustión lenta	15	24,2	76
Salamandra	17,3	27,9	-

Fuente: Elaboración propia en base a CENMA, 2009.

### Respecto de los mecanismos de cálculo involucrados en la estimación de emisiones.

La estimación del consumo de leña obtenido a partir de la encuesta entrega, generalmente, un valor de consumo en m<sup>3</sup> estéreos de leña, distribuido según el alcance del estudio, ya sea por tipo de artefactos, nivel de humedad, área geográfica al interior de la zona de estudio. No obstante, para realizar el cálculo de emisiones, este consumo debe estar en unidades de kg de leña. Esta simple conversión es un punto de desencuentro entre los diferentes estudios desarrollados previamente en Chile.

<sup>2</sup> Calefactor a leña correspondiente a la tecnología combustión lenta con templador: marca Bosca, modelo Limit 380.

La última actualización del inventario de emisiones para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, recientemente finalizado por este mismo consultor, considera el uso de factores de conversión o densidad de la leña de aquellos valores reportados por el Instituto Forestal de Chile, INFOR, quien obtuvo el año 2005, mediante mediciones en laboratorio, la densidad para muestras de leña correspondiente a tres especies, Eucalipto, Hualle y Aromo, bajo tres contenidos de humedad, y donde los principales resultados indican densidades correspondientes a 370 kg/m<sup>3</sup> estéreo de leña seca, y de 590 kg/m<sup>3</sup> estéreo de leña húmeda (3). La versión anterior del mismo inventario, desarrollada por CENMA para el año base 2009, consideró un valor uniforme de 500 kg/m<sup>3</sup> estéreo de leña (9), sin establecer diferencias según el contenido de humedad de la biomasa. Con ello se afectó significativamente la estimación de consumo de leña, y con ello, la estimación de emisiones obtenidas mediante la aplicación de los F.E. respectivos.

Notar que de acuerdo a estos últimos antecedentes se pudo establecer, que la estimación en unidades de masa, del consumo de leña seca realizado para el área urbana de Temuco en el marco de la actualización del inventario de emisiones del año 2009, habría sido sobreestimada en aproximadamente un 25%. Esto, a partir de una base de cálculo que considera que el 22% del volumen total de leña utilizado en la comuna se encuentra seca. Ver el siguiente ejemplo de cálculo:

Caso 1: Estimación según CENMA, 2010

$$\frac{580.552 \text{ m}^3 \text{ leña/año} \times 22\% \text{ leña seca} \times 500 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/Ton}} = 63.861 \text{ Ton leña seca/año}$$

Caso 2: Estimación según densidad corregida para leña seca<sup>3</sup> (SICAM, 2014)

$$\frac{580.552 \text{ m}^3 \text{ leña/año} \times 22\% \text{ leña seca} \times 370 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/Ton}} = 47.257 \text{ Ton leña seca/año}$$

En función de los antecedentes expuestos, se considera pertinente que la estimación de consumo de leña para la comuna de Valdivia sea realizada considerando los valores de densidad sugeridos por el INFOR, vale decir, 370 kg/m<sup>3</sup> estéreo para leña seca, 426 kg/m<sup>3</sup> estéreo para leña semi-húmeda y de 590 kg/m<sup>3</sup> estéreo para leña húmeda.

<sup>3</sup> Valores de densidad propuestos por estudio del INFOR, 2005.

### 3 METODOLOGÍAS UTILIZADAS PARA ESTIMAR EMISIONES PROVENIENTES DE LA COMBUSTIÓN RESIDENCIAL DE LEÑA

Teniendo presente que el desarrollo del presente inventario de emisiones tiene como objetivo central estimar las emisiones de MP10, MP2,5, CO, NOX, SO2 y COVs, que son generadas por artefactos domiciliarios que combustionan leña, ya sea para efectos de calefacción y/o cocción de alimentos en la comuna de Valdivia, se debe priorizar el uso de aquellas metodologías que mejor reflejen aquellas variables que determinan la situación actual de la comuna.

Al respecto, existe consenso a nivel internacional y nacional, que las diversas metodologías convergen al uso de variables comunes, a saber, caracterización de la fuente y sus niveles de actividad y la selección de F.E. No obstante, las metodologías específicas utilizadas para identificar los parámetros que establecen estas variables pueden variar, lo cual deriva en el aumento o disminución de incertidumbre asociada a la estimación.

Los inventarios desarrollados previamente en Chile, han seguido la metodología propuesta por el Programa de Mejoramiento de Inventarios de Emisiones, EIIP, de la EPA [5]. Esta consiste en la multiplicación de un factor de emisión por el nivel de actividad de la fuente emisora, de acuerdo a la siguiente expresión general:

$$E = FE \times NA$$

Ecuación 2

Dónde:

- E : Emisiones del contaminante en estudio (Ton/año).
- FE : Factor de emisión del contaminante en estudio, en función del nivel de actividad que caracteriza a la fuente (Ton/kg leña).
- NA : Nivel de actividad. Corresponde al consumo promedio de leña (Kg/año).

Luego, los inventarios desarrollados de manera generalizada en Chile, han seguido una tendencia en la identificación y uso de las variables que caracterizan el consumo de leña, replicando sucesivamente los mismos F.E., los que han sido obtenidos y proyectados únicamente a partir de referencias internacionales. Esto abre un tremendo espacio de incertidumbre asociada a la estimación, y con ello a la calidad y representatividad de los inventarios disponibles.

En el Anexo 1 se puede consultar mayores antecedentes respecto de las metodologías más difundidas para la estimación de emisiones de la fuente combustión residencial de leña. Se incluye una revisión del estado del arte de aquellas utilizadas en EE.UU., que han sido adaptadas en la mayor parte de la comunidad internacional, incluyendo a nuestro país.

### 3.1 DEFINICIÓN METODOLÓGICA PARA ESTIMAR LAS EMISIONES GENERADAS POR EL CONSUMO DE LEÑA EN LA COMUNA DE VALDIVIA, AL AÑO BASE 2013.

La metodología de estimación propuesta sigue la estructura sugerida en las diversas fuentes de referencia, manteniendo por defecto la estructura de los inventarios desarrollados previamente en el área de estudio, basados en la ecuación 1.

$$E_i = FE_{ij} \times NA_j$$

Ecuación 3

Donde:

$E_i$  : Emisiones del contaminante  $i$  en estudio (Ton/año).

$FE_{ij}$  : Factor de emisión del contaminante  $i$  para un artefacto del tipo  $j$  (Ton/Kg leña).

$NA_j$  : Nivel de actividad, definido como el consumo anual de leña del artefacto  $j$  (Kg leña/año).

Si consideramos que en Chile, la combustión residencial de leña es una práctica que se ejerce de manera colectiva, seguramente desde que se fundaron las primeras ciudades, podremos establecer una base respecto al tiempo transcurrido sin mediar control sobre esta fuente emisora. Por otra parte, se estima que la evolución en el número de fuentes ha sido directamente proporcional al crecimiento poblacional, tal como ha sido estimado en los inventarios de emisión desarrollados a la fecha.

Lo anterior, supone que el stock de artefactos disponibles en el área de estudio se ha incrementado aceleradamente en las últimas décadas. No obstante, la evidencia señala que este incremento no ha sido acompañado por una evolución tecnológica, la cual ha sido pasiva tanto en el aspecto tecnológico, como en la tasa de recambio natural que efectúan los usuarios. Por otra parte, la mayor demanda de leña, producto del crecimiento poblacional, ha generado una sobreexplotación del recurso, especialmente sobre el bosque nativo, haciendo cada vez más escasa su disponibilidad, y derivando en efectos adversos que afectan su calidad. Estas consideraciones deben verse reflejadas en la determinación de los niveles de actividad.

Por tal motivo, el énfasis se concentra en la aplicación de las metodologías específicas para caracterizar los niveles de actividad en Valdivia. Para el presente estudio, SICAM INGENIERÍA consideró:

1. Aplicación de una encuesta residencial, con características de representatividad estadística, con la cual se buscó poder determinar:
  - Consumo total de leña en el área de estudio (Toneladas/año), y distribuida según estratos específicos.

- Caracterización del tipo de artefactos de combustión de leña, y su distribución en el área de estudio.
  - Identificación de los perfiles de uso de los equipos de combustión, según intensidad, modos de operación, y su variabilidad estacional.
2. Análisis de estadísticas demográficas que permitan expandir los resultados de la encuesta. Se consideran los siguientes elementos:
- Distribución de población y viviendas urbanas en la comuna de Valdivia, estableciendo la evolución que ha tenido en los últimos años.
  - Caracterización del Nivel Socioeconómico de la población.
  - Distribución del tipo de viviendas presentes en el área de estudio.
3. Análisis de Información referente a regulaciones de índole nacional y local: que entregue antecedentes para realizar la proyección de emisiones según los escenarios de evaluación requeridos. En este aspecto, se considera:
- Desarrollo y uso de nuevas tecnologías de combustión residencial de leña.
  - Establecimiento de periodos de restricción al uso de leña.
  - Regulaciones referidas al aislamiento térmico de viviendas, que permita disminuir el consumo de leña.
  - Establecimiento de programas de sensibilización y educación ambiental.
  - Sustitución o recambio de tecnologías de combustión de leña, por otras más eficientes y menos contaminantes.
  - Prohibición al uso de tecnologías específicas, tales como chimeneas de hogar abierto, cocinas a leña, entre otras.

Por otra parte, los elementos de discusión y análisis correspondientes a la otra variable referida en la ecuación de cálculo son presentados en el apartado correspondiente a la selección de F.E., que se detalla en el capítulo siguiente.

#### 4 RECOPIACIÓN Y SELECCIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN PARA SU APLICACIÓN REPRESENTATIVA EN EL INVENTARIO DE EMISIONES DE VALDIVIA, AÑO BASE 2013.

Los factores de emisión son, junto a los niveles de actividad (asociado básicamente al consumo de leña), las principales variables a considerar en el desarrollo de un inventario de emisiones, y de su calidad y representatividad dependerán en buena medida los resultados que se obtengan. Así, un factor de emisión que no represente fielmente las condiciones reales del proceso de combustión residencial de leña de un área determinada, podrá generar problemas de incertidumbre de la estimación, ya que los resultados pudiesen ser ampliamente subestimados o sobrestimados.

En adelante, se presenta una acabada discusión respecto a los factores de emisión empleados en los inventarios de emisión desarrollados en Chile, para la fuente combustión residencial de leña. Si bien, los inventarios han considerado factores de emisión para la estimación de MP10, MP2,5, CO, NOx, SO2 y COVs, en el presente análisis se concentra esencialmente en los F.E. de MP10 y MP2,5, por cuanto corresponden al contaminante más significativo para este tipo de fuentes.

##### 4.1 ESTUDIO Y ANÁLISIS DE FACTORES DE EMISIÓN UTILIZADOS EN CHILE

La siguiente Tabla muestra las variables que han sido determinadas para la estimación de emisiones en tres ciudades del sur de Chile. Estos se asocian a la caracterización del stock de artefactos en uso, el consumo de leña que los caracteriza, y su modo de operación.

Tabla 8. Antecedentes para la caracterización del consumo residencial de leña y estimación de emisiones en ciudades del sur de Chile, tomadas de los inventarios de emisión disponibles.

Artefacto	Tipo de Artefactos identificados	Variantes del consumo de leña	Operación del artefacto
Talca	Cocinas Calefactor combustión lenta Salamandras Chimeneas Braseros	M3 de leña utilizada (total) Distribución de la calidad (% humedad) Consumo por tipo de artefacto.	No considerada
Temuco	Cocinas Salamandras Calefactor combustión lenta Chimeneas, otras	M3 de leña utilizada (total) Distribución de la calidad (% humedad) Consumo por tipo de artefacto.	Según buena/mala operación
Coyhaique	Cocina Calefactor combustión leña Salamandra, chimenea, otra	M3 de leña utilizada (total) Distribución según rangos de consumo Distribución de la calidad (estimada)	No disponible

Fuente: Elaboración propia en base a información reportada en los inventarios analizados.

Por otra parte, si bien en el capítulo inicial se mostró una Tabla con los principales F.E. utilizados en Chile, no se presentó información detallada respecto de su procedencia, fuente de información y/o análisis de su representatividad y pertinencia. La siguiente Tabla muestra los F.E. sugeridos.

Tabla 9. F.E. de MP (g/kg) para combustión residencial de leña, utilizados en los inventarios desarrollados para diferentes ciudades del sur de Chile que utilizan leña para efectos de calefacción y cocción de alimentos.

Artefacto	Humedad (base húmeda)			
	0 - 20 (Típica) <sup>a</sup>	20 - 30 <sup>b</sup>	30 - 40 <sup>b</sup>	Mala operación <sup>c</sup>
Cocinas a leña	19,2	30,9	90,1	
Calefactor sin templador	15,3	24,7	72,0	139,3
Calefactor con templador	8,3	13,5	39,3	76,0
Salamandra / Chimenea/ Otro	16,6	26,8	78,0	

Fuente: Elaboración propia.

En relación a los antecedentes presentados en la Tabla anterior, corresponde destacar que fueron determinados a partir de mecanismos distintos. Los F.E. presentados en la primera columna fueron tomados de propuesta de F.E. del AP-42 de la EPA [13], y homologados en Chile para la estimación de emisiones generadas por estufas, que en teoría, se comportan de manera equivalente a las utilizadas en EE.UU.

Luego, los F.E. presentados en la segunda y tercera columna fueron propuestos por DICTUC S.A. en los diferentes inventarios que desarrollara esta institución. En primera instancia solo consideró dos condiciones de humedad, correspondientes a las categorías, seca y semihúmeda (0-20 y 20-30), y luego derivó en F.E. para leña con alto contenido de humedad y para la variable mala operación de los artefactos, recogiendo para su determinación los antecedentes disponibles a la fecha. Esta última variable representa el tiempo en que los usuarios utilizan el tiraje que regula la entrada de aire de combustión en posición cerrada.

De esta manera, los F.E. propuestos por la EPA para el uso con leña seca, se proyectaron mediante una propuesta de DICTUC S.A. a diferentes tipos de artefactos utilizados en Chile, y a diferentes condiciones de operación del artefacto utilizadas en Chile, en términos del contenidos de humedad de la leña utilizada y las restricciones al ingreso de aire primario de combustión. Esto, buscando representar de mejor manera lo que ocurre en gran parte del territorio nacional donde se desarrollaron inventarios de emisión para la fuente combustión residencial de leña, y donde se recogieron antecedentes de estas variables.

La siguiente Figura muestra de manera gráfica el incremento de los valores asociados al F.E. en función de la mayor humedad de la leña, para los distintos tipos de artefactos utilizados en Chile.

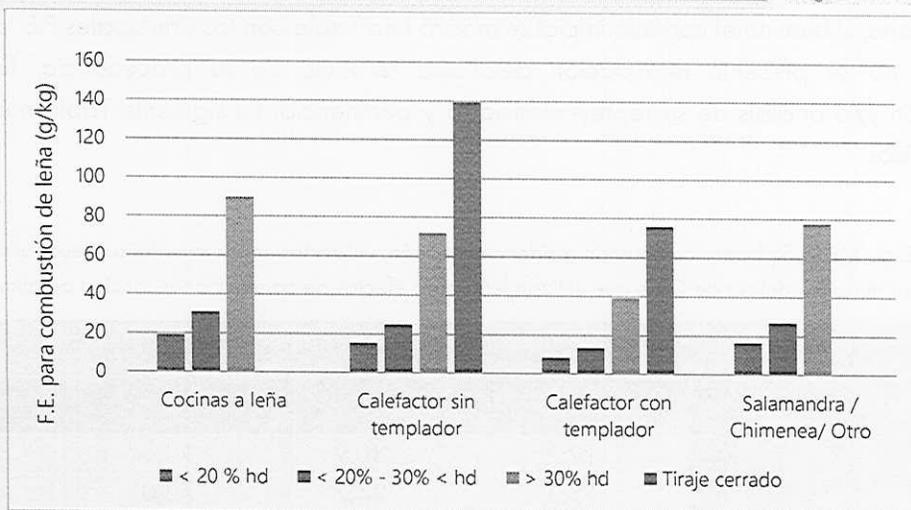


Figura 6. F.E. de MP10 para artefactos operados con distinta humedad de leña y regulación de tiraje.  
Fuente: Elaboración propia a partir de información reportada en inventarios analizados.

A pesar de haber proyectado los F.E. a las diferentes condiciones de humedad, los inventarios desarrollados previamente no dan cuenta del uso de todos ellos, especialmente para leña con alto contenido de humedad. Esto, debido a que por los altos valores reportados para el consumo de leña húmeda, implicaba aumentar ampliamente la estimación de emisiones, lo que a todas luces representaría una segura sobreestimación. Lo mismo ocurre para el uso de F.E. asociados a la regulación del tiraje.

Un ejemplo de lo anterior, es el último inventario desarrollado para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, donde solo se consideran los F.E. de las dos primeras columnas de la Tabla 9.

#### 4.2 ESTUDIO Y ANÁLISIS DE NUEVOS FACTORES DE EMISIÓN DISPONIBLES

El siguiente listado corresponde a los estudios de factores de emisión revisados dentro del presente estudio para determinar los F.E. más apropiados para utilizar en la estimación de emisiones de la comuna de Valdivia. Especial atención reciben los estudios realizados en Chile, ya que aportarían antecedentes más cercanos a la realidad local.

En adelante, se presenta el detalle de los F.E. informados en los estudios indicados. Sobre estos, se realizó un análisis de intercomparación, el cual se concentró en identificar las variables consideradas en su determinación, básicamente una caracterización del contexto en que se obtuvieron los F.E., una individualización del tipo de tecnología de combustión para el que fueron determinados, los métodos de medición o estimación utilizados, y la coherencia de los resultados presentados con las observaciones disponibles en antecedentes bibliográficos recopilados de investigaciones a nivel mundial.

De lo anterior, cabe señalar que el análisis se concentró en la identificación y selección de los F.E. más representativos para estimar las emisiones de material particulado, MP10 y MP2,5, respectivamente, por cuanto se constituyen como el contaminante más sensible de analizar en el desarrollo del inventario de emisiones para las ciudades del sur de Chile. A partir de su identificación, se seleccionaron F.E. para los demás contaminantes, considerando los criterios utilizados previamente.

- Proyecto FONDEF "Investigación y Generación de Factores de Emisión de Contaminantes Atmosféricos para Artefactos Residenciales que Combustionan Biomasa de Relevancia Nacional". Universidad Católica de Temuco, 2014 [14].
- Mediciones de emisiones de MP generadas por artefactos de combustión residencial de leña provenientes del programa de recambio de la ciudad de Coyhaique. Laboratorio emisiones Universidad Católica de Temuco, 2011 [15].
- Mediciones realizadas en el marco del programa de mejoramiento tecnológico de artefactos, desarrollado en convenio por CONAMA y Universidad Católica de Temuco, 2012 [16].
- Medición de material particulado, monóxido de carbono y eficiencia térmica para diferentes estufas del mercado nacional. Universidad de Concepción, 2012 [17].
- Medición de artefactos de uso residencial que operan con biomasa para apoyar procesos regulatorios ambientales. Reporte para CONAMA. SERPRAM, 2006 [18].
- Results from Tests on Wood Stoves and revised Recommendations for Emission Limit Values for Chile. Reporte para CONAMA. COSUDE, 2006 [4].
- Emissions Inventory Improvement Program (EIIP), Residential Wood Combustion. EPA, 2001 [5].

En adelante, se presentan el detalle de los FE informados en los estudios indicados. En esta instancia, el análisis se concentra en identificar los F.E. disponibles, así como las variables consideradas en su determinación, básicamente un análisis de los métodos de medición empleados y la coherencia de los resultados presentados. Luego, el primer paso es caracterizar los FE de MP, que constituyen el contaminante más sensible de analizar en el desarrollo del inventario de emisiones.

**Proyecto FONDEF D0811147 "Investigación y Generación de Factores de Emisión de Contaminantes Atmosféricos para Artefactos Residenciales que Combustionan Biomasa de Relevancia Nacional", UCT, 2014 [14].**

El proyecto FONDEF D0811147, "Investigación y Generación de Factores de Emisión de Contaminantes Atmosféricos para Artefactos Residenciales que Combustionan Biomasa de Relevancia Nacional", fue desarrollado en conjunto por la Universidad Católica de Temuco y la Universidad Federico Santa María.

Se ejecutó entre los años 2010 y 2013, y buscó generar antecedentes que permitieran reducir la incertidumbre asociada a los inventarios de emisión, mediante la generación de FE para distintas tecnologías de combustión, y especies de leña usadas en el territorio nacional. Incorporando además la humedad de la leña, y el modo de operación de los artefactos. El proyecto financió la adquisición de equipamiento, mejoras de infraestructura de laboratorios, capacitación técnica, participación en congresos, y difusión de resultados, entre otros. Considerando su envergadura, y el contexto en que se ejecutó, este proyecto se constituye como la mayor y más detallada fuente de información para la selección de Factores de Emisión asociados a la fuente combustión residencial de leña, representativa de todo el territorio nacional.

La investigación consideró el uso de 7 tipos de leña, las cuales fueron medidas en los siguientes artefactos: salamandra, cocina, estufa con templador y estufa sin templador. Cada artefacto se operó con leña seca y húmeda. Para el caso de salamandra y cocina se operó con tiraje abierto y cerrado, para el caso de la estufa con templador tiraje cerrado, medio y abierto y la estufa sin templador con tiraje medio y abierto. También se realizaron pruebas en una estufa doble cámara, para 2 especies de leña, eucaliptus y hualle, seco y húmedo, con tiraje medio y abierto.

En relación a las metodologías empleadas para la determinación de los F.E. de MP, estas se basaron en los métodos establecidos en Chile para la determinación de material particulado proveniente de calefactores a leña, métodos CH-28<sup>4</sup>, que entre otras cosas, establece la infraestructura y el modo en que se debe operar el calefactor durante las pruebas de medición, y el método CH-5G<sup>5</sup>, que establece el equipamiento y el procedimiento que se debe utilizar para la toma de muestras. Un aspecto importante del proyecto fue que no consideró una aplicación estricta del método CH-28, ya que en lugar de utilizar madera aserrada de *Eucaliptus globulus*, como se establece en este método, se buscó imponer una operación que a juicio de los investigadores fuese más representativa de la realidad local, por lo que se utilizaron tipos y cargas de leña y regulación del ingreso de aire, más típicas de la realidad nacional.

Las Tablas siguientes muestran los F.E. de MP10 obtenidos en la investigación.

<sup>4</sup> Determinación de material particulado y certificación y auditoría de calefactores a leña.

<sup>5</sup> Determinación de las emisiones de partículas de calefactores a leña medidas desde un túnel de dilución.

Tabla 10. FE de MP (g/kg) obtenidos para diferentes artefactos operados con tiraje cerrado y leña seca de diferentes especies, en Laboratorio de Emisiones de la UC Temuco.

Tipo Artefacto	Modo de uso Tiraje: CERRADO				
Leña Seca	Salamandra	Cocina	Estufa S/T	Estufa C/T	Estufa D/C
Eucalipto	9,9	8,3	-	14,5	-
Hualle	19,9	7,2	-	10,9	-
Aromo	13,8	4,4	-	6,7	-
Frutales	8,7	8,5	-	11,7	-
Lenga	11,2	9,2	-	12,1	-
Ulmo	22,9	8,1	-	13,1	-
Canelo	17,8	7,1	-	11,7	-

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de proyecto FONDEF D0811147.

Tabla 11. FE de MP (g/kg) obtenidos para diferentes artefactos operados con tiraje abierto y leña seca de diferentes especies, en Laboratorio de Emisiones de la UC Temuco.

Tipo Artefacto	Modo de uso Tiraje: ABIERTO				
Leña Seca	Salamandra	Cocina	Estufa S/T	Estufa C/T	Estufa D/C
Eucalipto	12,9	6,8	7,0	6,4	3,4
Hualle	12,9	3,6	5,1	2,9	4,1
Aromo	14,1	4,2	6,8	8,2	-
Frutales	9,4	11,2	3,0	2,1	-
Lenga	7,7	3,8	5,3	6,5	-
Ulmo	7,5	5,8	8,3	5,6	-
Canelo	20,2	16,5	4,9	3,3	-

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de proyecto FONDEF D0811147.

Tabla 12. FE de MP (g/kg) obtenidos para diferentes artefactos operados con tiraje medio y leña seca de diferentes especies, en Laboratorio de Emisiones de la UC Temuco.

Tipo Artefacto	Modo de uso Tiraje: MEDIO				
Leña Seca	Salamandra	Cocina	Estufa S/T	Estufa C/T	Estufa D/C
Eucalipto	-	-	6,8	7,0	6,3
Hualle	-	-	4,8	5,1	14,9
Aromo	-	-	7,1	2,9	-
Frutales	-	-	5,5	3,0	-
Lenga	-	-	4,9	5,3	-
Ulmo	-	-	4,1	8,3	-
Canelo	-	-	10,9	4,9	-

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de proyecto FONDEF D0811147.

De los primeros resultados presentados, se observa que hay una gran cantidad de configuraciones para las cuales no se determinaron F.E. El informe del proyecto no especifica los motivos de esta situación.

En las siguientes figuras se muestra de manera gráfica la distribución de los F.E. determinados en el proyecto FONDEF D0811147, para esta primera serie de ensayos, que consideró la operación de diferentes artefactos, con 7 especies diferentes de leña seca, pero con distinta regulación del ingreso de aire primario de combustión.

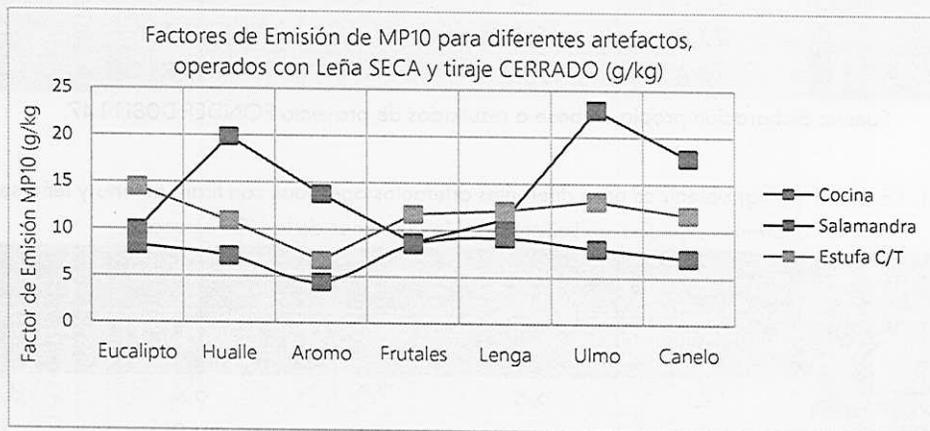


Figura 7. F.E. de MP10 para artefactos operados con 7 diferentes especies de leña seca y tiraje cerrado.  
Fuente: Elaboración propia.

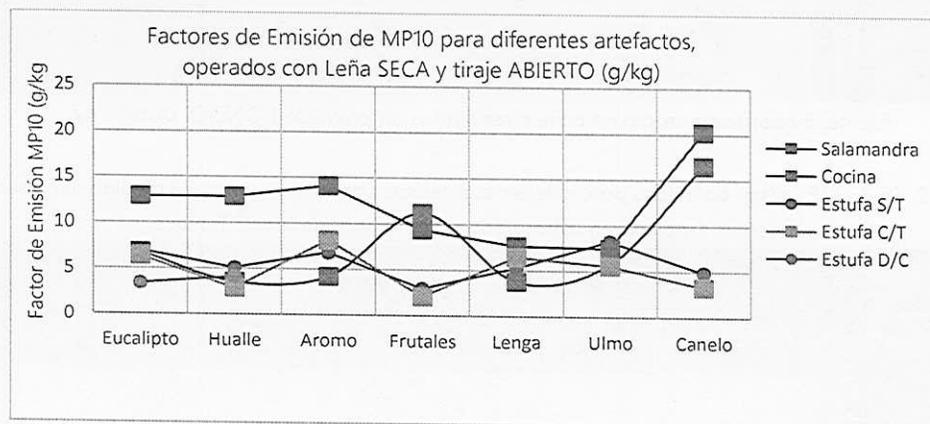


Figura 8. F.E. de MP10 para artefactos operados con 7 diferentes especies de leña seca y tiraje abierto.  
Fuente: Elaboración propia.

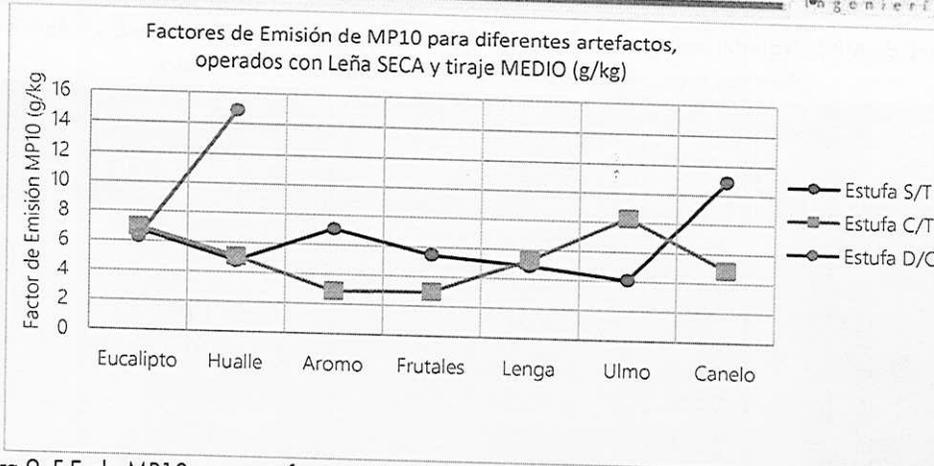


Figura 9. F.E. de MP10 para artefactos operados con 7 diferentes especies de leña seca y tiraje medio.  
Fuente: Elaboración propia.

En general, las gráficas reflejan un comportamiento lineal para una configuración en la que solo varía la especie de leña, manteniendo constante la humedad y regulación del ingreso de aire. Se observa que las emisiones reportadas en cada gráfico se mueven en un rango acotado, sin mostrar cambios relevantes al variar la especie de leña. No obstante al comparar las emisiones entre los diferentes gráficos, se observa que hay un desplazamiento más significativo, que se asocia a la regulación del ingreso de aire. Esto es concordante con los resultados presentados en el informe del proyecto COSUDE (Nussbaumer, 2006), que consideró ensayos de un calefactor de fabricación nacional, manipulando estas mismas variables, en un Laboratorio en Suiza, donde no se encontraron diferencias significativas al variar la especie de leña, pero si, al variar el modo de operar el artefacto.

No obstante, las gráficas anteriores también muestran algunos resultados (algunas mediciones) que se escapan a esta lógica, contradiciendo lo observado por Nussbaumer en sus investigaciones en Chile y Suiza. El informe del proyecto FONDEF no presenta un análisis de estas variaciones, por lo que no fue posible justificar su pertinencia.

Las Tablas siguientes muestran los F.E. de MP10 obtenidos en serie de ensayos correspondientes a la operación de diferentes artefactos con leña húmeda, y distinta configuración del ingreso de aire primario de combustión.

Tabla 13. FE de MP (g/kg) obtenidos para diferentes artefactos operados con tiraje cerrado y leña húmeda de diferentes especies, en Laboratorio de Emisiones de la UC Temuco.

Tipo Artefacto	Modo de uso Tiraje: CERRADO				
Leña Húmeda	Salamandra	Cocina	Estufa S/T	Estufa C/T	Estufa D/C
Eucalipto	31,2	15,4	-	31,6	-
Hualle	24,1	12,4	-	28,8	-
Aromo	34,0	12,9	-	19,8	-
Frutales	27,1	12,6	-	29,6	-
Lenga	24,5	16,7	-	28,0	-
Ulmo	32,9	33,2	-	39,5	-
Canelo	25,9	27,0	-	18,2	-

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de proyecto FONDEF D0811147.

Tabla 14. FE de MP (g/kg) obtenidos para diferentes artefactos operados con tiraje abierto y leña húmeda de diferentes especies, en Laboratorio de Emisiones de la UC Temuco.

Tipo Artefacto	Modo de uso Tiraje: ABIERTO				
Leña Húmeda	Salamandra	Cocina	Estufa S/T	Estufa C/T	Estufa D/C
Eucalipto	34,7	8,1	6,9	8,1	13,0
Hualle	15,4	14,1	17,4	10,7	19,6
Aromo	47,7	17,6	18,3	15,2	-
Frutales	12,7	13,6	8,3	3,9	-
Lenga	37,1	8,9	9,5	10,3	-
Ulmo	39,4	29,8	8,6	10,0	-
Canelo	45,6	29,2	10,0	5,3	-

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de proyecto FONDEF D0811147.

Tabla 15. FE de MP (g/kg) obtenidos para diferentes artefactos operados con tiraje medio y leña húmeda de diferentes especies, en Laboratorio de Emisiones de la UC Temuco.

Tipo Artefacto	Modo de uso Tiraje: MEDIO				
Leña Húmeda	Salamandra	Cocina	Estufa S/T	Estufa C/T	Estufa D/C
Eucalipto	-	-	10,5	10,4	32,8
Hualle	-	-	14,7	6,8	31,3
Aromo	-	-	29,9	17,2	-
Frutales	-	-	7,8	4,1	-
Lenga	-	-	11,9	8,0	-
Ulmo	-	-	14,3	16,1	-
Canelo	-	-	28,9	7,5	-

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de proyecto FONDEF D0811147.

En las siguientes figuras, se muestra de manera gráfica la distribución de los F.E. determinados en el proyecto FONDEF D0811147, para esta serie de ensayos, que correspondió a la operación de diferentes tipos de artefactos con 7 especies de leña húmeda, y distinta regulación del ingreso de aire primario de combustión.

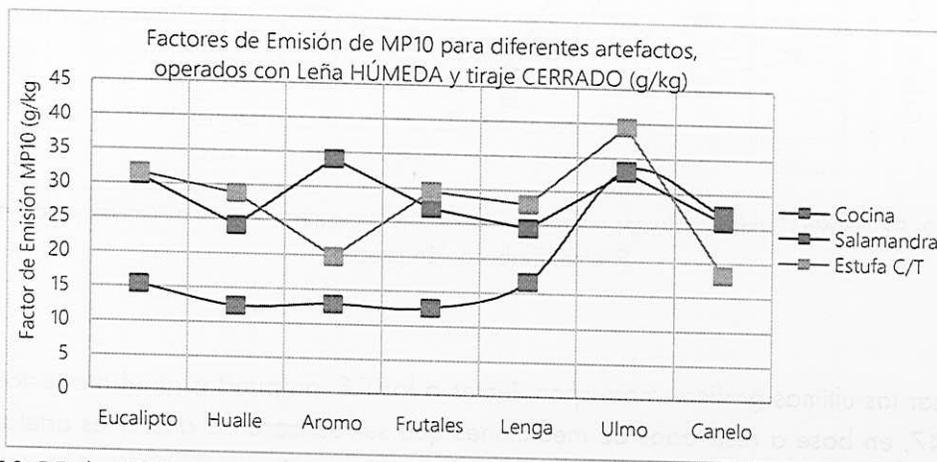


Figura 10. F.E. de MP10 para artefactos operados con 7 diferentes especies de leña húmeda y tiraje cerrado.  
Fuente: Elaboración propia.

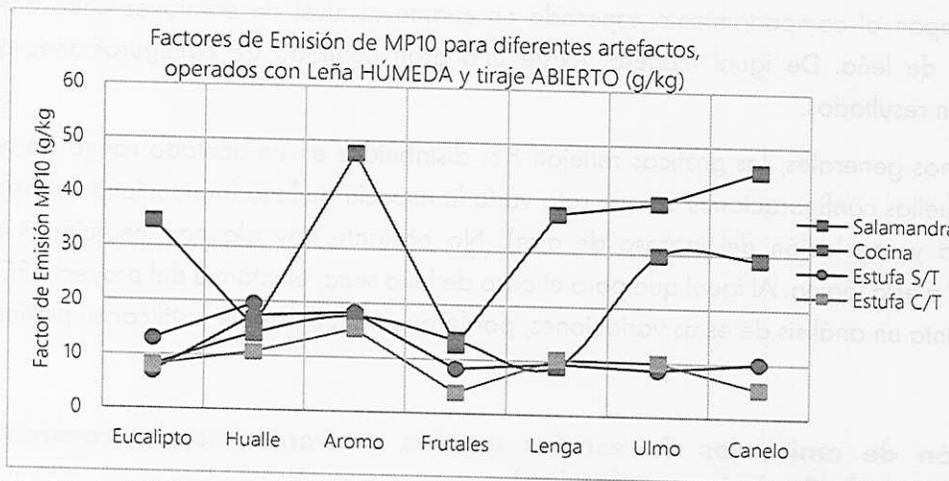


Figura 11. F.E. de MP10 para artefactos operados con 7 diferentes especies de leña húmeda y tiraje abierto.  
Fuente: Elaboración propia.

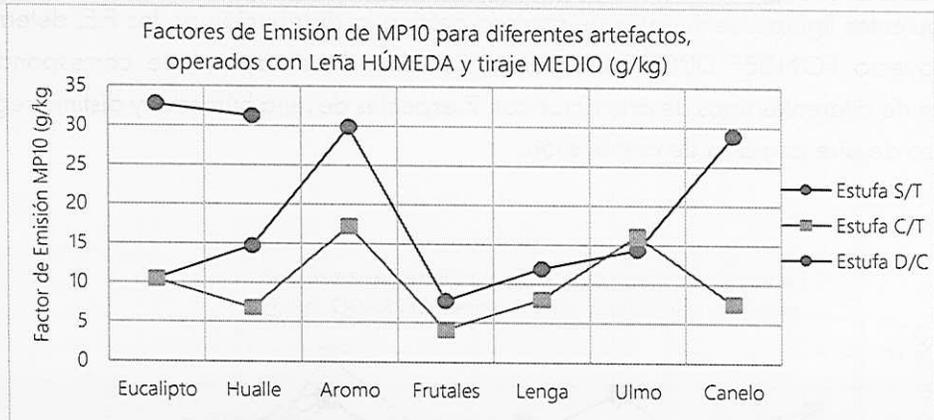


Figura 12. F.E. de MP10 para artefactos operados con 7 diferentes especies de leña húmeda y tiraje medio. Fuente: Elaboración propia.

Al analizar las últimas gráficas, correspondientes a los F.E. propuestos en el proyecto Fondef D0811147, en base a resultados de mediciones que se realizaron a diferentes artefactos de combustión, operados con leña húmeda de 7 diferentes especies de biomasa. Al respecto, se refuerza la idea mencionada para el caso anterior (leña seca), ya que se presentan resultados que escapan al comportamiento esperado en cuanto al nivel de emisiones entre diferentes especies de leña. De igual manera, existe una gran cantidad de configuraciones que no presentan resultados.

En términos generales, las gráficas reflejan F.E. distribuidos en un acotado rango de valores, para aquellas configuraciones en que solo varía la especie de leña (manteniendo constante la humedad y regulación del ingreso de aire). No obstante hay algunas mediciones que se escapan a esta lógica. Al igual que para el caso de leña seca, el informe del proyecto FONDEF no presenta un análisis de estas variaciones, por lo que no fue posible justificar su pertinencia.

**Medición de emisiones de estufas usadas provenientes del recambio de calefactores de Coyhaique, 2011 [15].**

El siguiente corresponde a otro estudio desarrollado por la Universidad Católica de Temuco, a través de su Laboratorio de Emisiones. Se trata de los resultados obtenidos del proyecto "Medición de emisiones de MP generadas por artefactos de combustión residencial de leña provenientes del programa de recambio de la ciudad de Coyhaique".

El estudio fue solicitado con el objetivo de que a través de los resultados de mediciones, el Ministerio de Medio Ambiente pudiese evaluar el impacto del programa de recambio de

calefactores a leña en la ciudad de Coyhaique, afectada por elevadas concentraciones de MP10 durante gran parte del año.

El estudio consideró la medición de los siguientes artefactos: 1 cocina a leña, 1 estufa hechiza, 1 calefactor con templador y 3 calefactor sin templador. Cada artefacto se operó de acuerdo a lo establecido en el protocolo de certificación de artefactos residenciales que usan biomasa, CH-28, con madera de Eucaliptus globulus aserrada, y siguiendo las indicaciones del método CH-5G para la medición del MP, con muestreador isocinético. No obstante según se muestra en los resultados, no fue factible obtener todas las tasas de quemado requeridas por el método de medición.

Las mediciones fueron realizadas siguiendo lo establecido en el método de medición de MP proveniente de calefactores a leña, CH-5G, y por el protocolo de certificación artefactos residenciales que usan biomasa, CH-28.

Tabla 16. Factores de Emisión (g/kg) y tasa de emisión (g/h) de MP obtenido de los ensayos a un grupo de artefactos provenientes del programa de recambio de la ciudad de Coyhaique (2011), previo a chatarrización, en Laboratorio de Emisiones UCT, 2012.

Tipo Artefacto	FE (g/kg leña), según rango de tasa de quemado				Emisión MP g/h
	< 0,8 kg/h	0,8-1,2 kg/h	1,2-1,9 kg/h	>1,9 kg/h	
Artefacto 1: Cocina mediana	NF	NF	9,6**	NF	16,8
Artefacto 2: Salamandra	NF	23,1	32,9	NF	34,2
Artefacto 3: Calefactor	NF	NF	21,5	10,3	28,0
Artefacto 4: Calefactor	NF	NF	ND	18,4**	44,8
Artefacto 5: Calefactor	NF	NF	ND	10,1**	34,9
Artefacto 6: Calefactor	NF	45,8	32,4**	22,0	42,2

\*\* Promedio de dos corridas de medición.

\*\*\* Promedio de tres corridas de medición.

ND: No disponible.

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de mediciones de Laboratorio de mediciones UCT.

De los resultados presentados, se puede ver la dificultad para conseguir llevar adelante los ensayos, especialmente para conseguir bajas tasas de quemado, esto puede representar un efecto de diseño, pero al mismo tiempo, el efecto producido por los años de uso y condiciones de mantención de los artefactos. En efecto, los resultados obtenidos para el artefacto 6, correspondiente a un calefactor de combustión lenta sin templador, constituyen un dato de alto valor, por la representatividad del artefacto en cuanto al perfil tecnológico, y la factibilidad de haber operado en una tasa de quemado baja con tiraje cerrado.

Artefacto 1: N° 602

Tipo de Tecnología	Cocina mediana
Fabricante	No determinado
Modelo	No determinado
Control de Ingreso de Aire Primario	Puerta bajo la cámara de combustión
Otras configuraciones	Control de tiraje
Volumen de la cámara de combustión	0,0162 m <sup>3</sup>

Observaciones:

- La superficie exterior de la cocina se encuentra en muy malas condiciones, con barrotes y patas caídas, paredes y cubierta deterioradas (plataforma y anillos quebrados). En tanto que la superficie interna de la cámara de combustión, del horno y el conducto de humos se encuentra con fisuras mayores.
- Respecto de los dispositivos para el control de la combustión, cabe señalar que:
  - La puerta de regulación de aire ubicada bajo la puerta de carga de leña, se encuentra absolutamente desenchujada y sin manilla de sujeción.
  - El regulador de tiraje, cuya función es deflectar los gases hacia el horno, y con ello transferir calor al mismo (retardando por defecto la salida de los humos por la chimenea), se encuentra totalmente destruido (fundido).



Artefacto 2: N° 810

Tipo de Tecnología	Salamanca
Fabricante	No determinado
Modelo	No determinado
Control de Ingreso de Aire Primario	Centicero bajo la cámara de combustión
Material	Lata 1,5 mm espesor
Otras configuraciones	Sin control de tiraje
Volumen de la cámara de combustión	0,0171 m <sup>3</sup>

Observaciones:

- El artefacto corresponde a un dispositivo pequeño, de construcción aparentemente artesanal o doméstica, cuyas características constructivas conspiran negativamente para tener un proceso eficiente de la combustión.
- Respecto de los dispositivos para el control de la combustión, cabe señalar que:
  - La regulación de ingreso de aire de combustión se realiza, en teoría, mediante la puerta del centicero. En la práctica, la baja hermeticidad de las paredes y la puerta de carga de leña, provocan un flujo constante de aire hacia la caja de fuego.
  - No dispone de regulador de tiraje, lo cual genera que los gases de combustión sean evacuados a gran temperatura por la chimenea, con las pérdidas de energía asociadas.

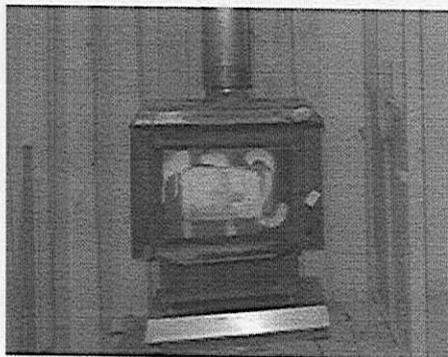


Artefacto 3: N° 172

Tipo de Tecnología	Calefactor de cámara simple (sin templador)
Fabricante	No determinado
Modelo	No determinado
Control de Ingreso de Aire Primario	Manilla de regulación frontal
Otras configuraciones	Control de tiraje
Volumen de la cámara de combustión	0,0514 m <sup>3</sup>

Observaciones:

- Cámara de combustión: no dispone de ladrillos refractarios. La puerta de carga dispone de una lata de aluminio (zinc), en lugar de vidrio refractario, por lo que es imposible tener un cierre hermético.
- Respecto de los dispositivos para el control de la combustión:
  - el regulador de tiraje, cuya función es retardar la salida de los humos por la chimenea, se encuentra operativo, aunque torcido, impidiendo un cierre hermético.



Artefacto 4: N° 603

Tipo de Tecnología	Calefactor de cámara simple (sin templador)
Fabricante	No determinado
Modelo	No determinado
Control de Ingreso de Aire Primario	Manilla de regulación frontal
Otras configuraciones	Control de tiraje
Volumen de la cámara de combustión	0,0614 m <sup>3</sup>

Observaciones:

- Cámara de combustión:
  - Su diseño no contempla uso de ladrillos refractarios, y sus paredes se encuentran torcidas por el uso, impidiendo cierre hermético.
  - La puerta de carga de leña está sostenida mediante una cruzeta de hierro curvo (en lugar de bisagras), y en lugar de vidrio refractario, dispone de una lata de aluminio (zinc), por lo que es imposible tener un cierre hermético.
- Respecto de los dispositivos para el control de la combustión:
  - el regulador de tiraje, cuya función es retardar la salida de los humos por la chimenea, se encuentra operativo, aunque torcido, impidiendo un cierre hermético.



Artefacto 5: N° 941

Tipo de Tecnología	Calefactor de cámara simple (sin templador)
Fabricante	No determinado
Modelo	No determinado
Control de Ingreso de Aire Primario	Manilla de regulación frontal
Otras configuraciones	Control de tiraje
Cámara de combustión	0,0620 m³

Observaciones:

- En general, corresponde a un artefacto altamente deteriorado, que tiene entre otros desperfectos, los que a continuación se listan:
- Cámara de combustión: no dispone de ladrillos refractarios, y denota un grado de fundición evidente, con paredes torcidas y perforadas. No dispone de puerta.
  - Superficie: No dispone de paredes superficiales laterales (únicamente las paredes de la cámara de combustión).
  - Respetto de los dispositivos para el control de la combustión:
    - el regulador de ingreso de aire se encuentra atascado (en la posición de máxima apertura).
    - el regulador de tiraje, cuya función es retardar la salida de los humos por la chimenea, no se encuentra disponible (descolgado de la manilla de regulación), por lo que los humos pasan directo de la cámara de combustión a la chimenea.

En resumen, este artefacto opera como una verdadera Chimenea de hogar abierto.



Artefacto 6: N° 558

Tipo de Tecnología	Calefactor de cámara simple (sin templador)
Fabricante	Apptol (según placa del artefacto)
Modelo	No determinado
Control de Ingreso de Aire Primario	Manilla de regulación frontal
Otras configuraciones	Control de tiraje disponible
Volumen de la cámara de combustión	0,0590 m³

Observaciones:

- En términos generales, este artefacto es el que mejores condiciones presentó.
- Disponía de control de ingreso de aire primario de combustión, y control de tiraje, 100% operativo.



Figura 13. Caracterización de artefactos provenientes del programa de recambio de Coyhaique.

Según los datos presentados en la Tabla 16, es evidente que corresponden a F.E. y tasas de emisión más elevadas que las observadas en el estudio presentado previamente, pero que al ser contrastados con la caracterización de los artefactos medidos (Figura 3), ampliamente deteriorados por los años de uso, se puede justificar un patrón de incremento de las emisiones. Notar que estos artefactos pueden representar más fielmente la realidad de muchos sectores de la población local.

### Mediciones realizadas en el marco del programa de mejoramiento tecnológico de artefactos, desarrollado en convenio por CONAMA-UCT. 2012 [16].

El presente corresponde a la evaluación de los resultados obtenidos a partir de otras mediciones realizadas en el medio local, y que estuvieron orientadas a evaluar el comportamiento de un prototipo desarrollado por la Sociedad Industrial Gross S.A., empresa con más de 45 años de experiencia en la industria de producción y comercialización de artefactos de combustión residencial de leña<sup>6</sup>, líder indiscutido en la fabricación de cocinas destinadas a la cocción de alimentos y calentar agua, y fabricante e importador de calefactores.

<sup>6</sup> www.industriasgross.cl

La importancia de los factores de emisión obtenidos de los ensayos a este prototipo radican en que corresponden a un prototipo desarrollado y mejorado con apoyo del "Programa de mejoramiento de artefactos", celebrado entre la Seremi de Medio Ambiente de La Araucanía, fabricantes regionales de calefactores a leña, y la Universidad Católica de Temuco, a través de su Laboratorio de Emisiones. De igual manera, el prototipo desarrollado se basó en el diseño facilitado por la Agencia de Cooperación Suiza, COSUDE, y viene a materializar el trabajo abordado tras años de investigación y trabajo conjunto.

Tabla 17. Factores de Emisión (g/kg) y tasa de emisión (g/h) de MP obtenido de los ensayos a un calefactor de Industrias Gross denominado Sirius II, en Laboratorio de Emisiones UCT, 2012.

Tipo Artefacto	FE (g/kg leña), según rango de tasa de quemado				Emisión MP g/h
	< 0,8 kg/h	0,8-1,2 kg/h	1,2-1,9 kg/h	>1,9 kg/h	
Gross, Modelo Sirius II	ND	2,4**	2,0	1,7	2,8

\*\* Promedio de dos corridas de medición

\*\*\* Promedio de tres corridas de medición

ND: No disponible.

Fuente: Elaboración propia en base a informe de mediciones de Laboratorio de emisiones UCT.

Respecto de los datos presentados, es preciso mencionar que corresponden a los valores de emisiones más bajas conseguidas en el marco del programa de mejoramiento de artefactos al que se hace referencia. Al procesar los datos que son presentados en el informe, se obtiene que para una tasa de quemado promedio de 1,4 Kg/h de leña, el F.E. corresponde a 2,1gMP10/Kg de leña.

#### **Medición de material particulado, monóxido de carbono y eficiencia térmica para diferentes estufas del mercado nacional. UDEC, 2012 [17].**

El año 2012 se encarga un nuevo estudio, de similares características al solicitado previamente al Laboratorio SERPRAM. Esta vez fue encargado a la Universidad de Concepción, por el recién instaurado Ministerio del Medio Ambiente.

Los requerimientos consistieron básicamente en medir las emisiones de MP y CO de un nuevo grupo de calefactores con presencia en el mercado nacional. No obstante se agregó la solicitud de medir a través de un Laboratorio en Chile, y de otro en EE.UU, que estuviese acreditado por la EPA para realizar ensayos de certificación de calefactores en dicho país, con el objetivo de poder contrastar los resultados y capacidades a nivel local.

Al respecto, la Universidad de Concepción, gestionó y coordinó el desarrollo de los ensayos de medición en Chile, y EE.UU., a través de los Laboratorios, OPTIFLAMA de la misma casa de estudios, y OMNI-Test de EE.UU, respectivamente. Los resultados obtenidos se presentan de manera resumida en las tablas siguientes. Con el objetivo de simplificar el análisis, se agruparon los resultados pertenecientes a una misma categoría de quemado.

Tabla 18. Factores de Emisión (g/kg) y tasa de emisión (g/h) de MP obtenidos de los ensayos de calefactores Efel, Haas&Sohn, Amesti, Bosca y Alcazar en laboratorio OMNI-Test de USA.

Tipo Artefacto	FE (g/kg leña), según rango de tasa de quemado				Emisión MP g/h
	< 0,8 kg/h	0,8-1,2 kg/h	1,2-1,9 kg/h	>1,9 kg/h	
Efel, modelo BA6000	ND	ND	14,0**	10,2	18,7
Haas&Sohn, modelo Ecoline	ND	ND	5,9	2,2**	9,3
Amesti, modelo Rondo 450	ND	11,9**	1,0	3,3	7,4
Bosca, modelo Limit 450	ND	14,1**	2,4**	0,9	8,4
Alcazar, modelo 389	57,6	ND	7,2**	1,1	21,8
	ND	ND	14,0**	10,2	18,7

\*\* Promedio de dos corridas de medición

\*\*\* Promedio de tres corridas de medición

ND: No disponible

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de mediciones de Laboratorio OMNI-Test de USA.

Tabla 19. Factores de Emisión (g/kg) y tasa de emisión (g/h) de MP obtenidos de los ensayos de calefactores Efel, Haas&Sohn, Amesti, Bosca y Alcazar y un prototipo en Laboratorio Optiflama, UDEC, 2012.

Tipo Artefacto	FE (g/kg leña), según rango de tasa de quemado				Emisión MP g/h
	< 0,8 kg/h	0,8-1,2 kg/h	1,2-1,9 kg/h	>1,9 kg/h	
Efel, modelo BA6000	ND	ND	4,3	2,6**	5,9
Haas&Sohn, modelo Ecoline	ND	ND	2,2**	2	3,9
Amesti, modelo Rondo 450	43,1	13,6	8,4	1,1	11,9
Bosca, modelo Limit 450	29,1	21,4	7,1	3,3	19,9
Alcazar, modelo 389	37,2	3,1	4,3	1,8	7,5
Prototipo	ND	ND	3,8	0,9**	2,2

\*\* Promedio de dos corridas de medición

\*\*\* Promedio de tres corridas de medición

ND: No disponible

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de mediciones de Laboratorio Optiflama, UDEC.

**Medición de artefactos de uso residencial que operan con biomasa para apoyar procesos regulatorios ambientales. Reporte para CONAMA. SERPRAM, 2006 [18].**

El año 2006, la entonces Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), solicitó al Laboratorio SERPRAM, realizar ensayos de medición a un grupo de artefactos de combustión de uso residencial que operan con leña, con el propósito de conocer información de línea base de sus emisiones. Los ensayos, a escala de laboratorio, consistieron en medir las concentraciones de material particulado y gases (O<sub>2</sub> y CO) generados por cada artefacto a tasas de quemado fijas.

Cabe destacar que al año 2006, solo existían en Chile Laboratorios autorizados para medir MP en fuentes fijas, a través del método EPA-5, oficializado en Chile a través del método CH-5. No obstante, la medición de MP proveniente de estufas a leña se realiza siguiendo patrones muy similares, a través del método EPA-5G, una variante del método EPA-5. De esta manera, el Laboratorio SERPRAM contaba con capacidades para realizar ajustes en sus instalaciones y realizar ensayos preliminares con calefactores a leña, en conformidad a lo especificado en los métodos CH-28 de certificación, el método CH-5G para la determinación de las emisiones de partículas de calefactores a leña medidas desde un túnel de dilución.

Al respecto, estos resultados se constituyen como una de las primeras aproximaciones en la obtención de F.E. representativos de la realidad nacional, obtenida mediante adecuaciones a los métodos de referencia, y que posteriormente las mismas variables fueron abordadas con mayor nivel de detalle a través de los proyectos que fueron presentados previamente.

Tabla 20. Factores de Emisión (g/kg) y tasa de emisión (g/h) de MP obtenidos de los ensayos a equipos marca Bosca, Amesti, Pucón, Gerten, y Gross, por laboratorio SERPRAM, Chile 2006.

Tipo Artefacto	FE (g/kg leña), según rango de tasa de quemado				Emisión MP g/h
	< 0,8 kg/h	0,8-1,2 kg/h	1,2-1,9 kg/h	>1,9 kg/h	
A-1	ND	ND	3,6 <sup>***</sup>	1,23	4,7
A-2	ND	2,4	2,6 <sup>***</sup>	ND	3,2
B	3,5	1,6 <sup>**</sup>	2,6 <sup>**</sup>	ND	2,5
C	ND	ND	ND	1,7 <sup>***</sup>	6,2
D-1	ND	5,6	4,02	2,8 <sup>**</sup>	6,7
D-2	ND	25,4	22,2	ND	28,7
E	ND	ND	3,9 <sup>***</sup>	1,8 <sup>**</sup>	5
A-1	ND	ND	3,6 <sup>***</sup>	1,23	4,7
A-2	ND	2,4	2,6 <sup>***</sup>	ND	3,2

\*\* Promedio de dos corridas de medición

\* Promedio de tres corridas de medición

ND: No disponible

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de mediciones de Laboratorio SERPRAM, 2006.

A través de este estudio se hizo referencia, quizá por primera vez, que los calefactores y cocinas a leña producidas en la industria nacional tendrían problemas de fabricación, tales como entradas de aire falso a través de un cenicero, control de aire que se traba con la temperatura y no permite hacer regulaciones de la tasa de quemado, entrada de aire directo al templador no permite obtener tasas de quemado inferiores a 1,0 kg/h, tasas máximas de quemado provocan llamas en el cañón de evacuación de gases, y poca reproducibilidad de los modelos fabricados en un mismo lote o proceso de producción, lo que dificulta grandemente la evaluación representativa.

Por otra parte, nuevamente se destaca la gran diferencia que existe entre las emisiones obtenidas para tasas de quemado baja, respecto de las obtenidas en tasas de quemado medias o altas.

### **Results from Tests on Wood Stoves and revised Recommendations for Emission Limit Values for Chile. Reporte para CONAMA. COSUDE, 2006 [4].**

El informe del proyecto COSUDE, elaborado por Nussbaumer el año 2006, corresponde a uno de los productos entregados por la Agencia de Cooperación Suiza a la Comisión Nacional de Medio Ambiente, con quien por años han estado colaborando en materia de calidad del aire. En este informe en particular, se entregan los resultados obtenidos de las mediciones practicadas a un calefactor fabricado por la industria nacional, bajo diferentes condiciones de operación. Los ensayos fueron practicados en Suiza, a través de laboratorios y equipamiento de monitoreo de avanzada tecnología, pero siguiendo prácticas representativas de la operación que se realiza en Chile, esto incluye:

- Uso de leña utilizada en Chile,
- Condiciones de humedad típicas empleada en Chile (Temuco),
- Modo de operación representativo de la realidad chilena.

Las mediciones fueron realizadas a través del método VDI, el cual no captura el material condensable de las emisiones. Análisis de corrección realizados en el contexto de este estudio, concluyeron que bajo condiciones de operación ideales, no existe diferencias relevantes respecto a lo medido a través del método EPA-5G, pero cuando se realizan ensayos para condiciones típicas de operación utilizadas en Chile (con leña húmeda y restricciones al ingreso de aire de combustión), la diferencia es muy notoria, donde el método VDI subestima las emisiones, precisamente porque bajo estas condiciones se genera una gran cantidad de material particulado condensable.

Respecto a las conclusiones del estudio destacan los resultados obtenidos para la estufa tradicional chilena, 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.

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.

Otro de los resultados interesantes aportados en este estudio, dicen relación a que las diferencias en la generación de emisiones como función de la especie de leña, es irrelevantes, respecto a la condición de humedad de la leña o el modo de operación del artefacto (Nussbaumer, 2006).

Respecto de este estudio, es preciso señalar que las condiciones definidas para efectuar los ensayos, son en algunos casos llevadas a los extremos. Por ejemplo, se define como condición ideal una operación con leña cuyo contenido de humedad es tan solo un 12%, muy por debajo de lo establecido en Chile como leña seca (25%). Por otra parte, se define como condición mala operación, cuando el artefacto es operado con la cámara de combustión completamente llena, con grandes trozos de leña, y el ingreso de aire de combustión primaria completamente cerrado, muy diferente a la definición típica empleada en Chile, asociada principalmente al uso del tiraje, o control de ingreso de aire primario de combustión.

De todas maneras, nuevamente se destaca la gran diferencia que existe entre las emisiones obtenidas para tasas de quemado baja, respecto de las obtenidas en tasas de quemado medias o altas.

#### **Programa de mejoramiento de inventarios (EIIP), Combustión residencial de leña. EPA, 2001 [5].**

Los factores de emisión de contaminantes criterio utilizados por la EPA para la fuente combustión residencial de leña, corresponden a los reportados el año 2001 por el programa de mejoramiento de inventarios (EIIP). Estos factores de emisión fueron establecidos a partir de los límites de emisión regulados por la EPA hacia fines de la década de los 80, y fueron determinados a través de pruebas de laboratorio llevadas a cabo mediante los protocolos de certificación de calefactores, principalmente los métodos EPA-5G y EPA-5H.

Tabla 21. Factor de emisión de contaminantes criterio para combustión residencial de leña.

ID	Tipo de artefacto	MP10	NOx	CO	COVs	SO2
1	Estufas y cocinas	17,3	1,3	126,3	114,5	0,2
2	Cocinas	17,3	1,3	126,3	114,5	0,2
3	Estufas catalíticas (Fase II)	8,1	1,0	53,5	7,5	0,2
4	Estufas No Catalíticas (Fase II)	7,3	-	70,4	6,0	0,2
5	Estufas convencionales	15,3	1,4	115,4	26,5	0,2
6	Estufa - Pellets/certificada	2,1	6,9	19,7	-	0,2
7	Estufa - Pellets/exenta	4,4	-	26,1	-	-
8	Chimenea albañilería	2,8	-	74,5	-	-

1. Corresponden a FE para chimeneas y solo se recomienda su uso cuando no se cuenta con información desagregada de equipos de combustión.
2. Exento de las Normas de Desempeño de Nuevas Fuentes 1988 para estufas de leña debido a aire: combustible > 15: 1 y / o la velocidad de combustión mínimo > 5 kg / hr
6. Certificado de conformidad con el nuevo origen de Estándares de Desempeño 1988 para estufas de leña
7. Exento de las Normas de Desempeño de Nuevas Fuentes 1988 debido a aire: combustible > 35: 1.
8. Exento de las Normas de Desempeño de Nuevas Fuentes desde 1988, debido a peso > 800 kg.

#### 4.3 PROPUESTA DE FACTORES DE EMISIÓN A UTILIZAR

De acuerdo a lo indicado, los F.E. utilizados en los inventarios desarrollados previamente carecen de respaldo técnico que haga referencia a la representatividad que tendrían para su aplicación en Chile, derivando en que su aplicación ocasiona incertidumbre en los resultados obtenidos.

A partir de esta observación, se sugiere la selección de nuevos F.E. que reflejen de mejor manera la situación de Chile, y en particular de la comuna de Valdivia. Al respecto, y según quedó demostrado con los antecedentes presentados, en los últimos años se ha generado una base de nuevos F.E., levantados específicamente para reflejar las condiciones reales que caracterizan la fuente combustión residencial en Chile. En específico, estos antecedentes han sido generados a través de mediciones efectuadas a partir del año 2010, en los Laboratorios de la Universidad Católica de Temuco, Universidad de Concepción y la empresa SERPRAM S.A. También fueron considerados algunos antecedentes reportados por el Laboratorio OMNI de EE.UU., que se obtuvieron de un servicio técnico de mediciones contratado por el Ministerio de Medio Ambiente, para la evaluación según protocolos de certificación, de 5 artefactos fabricados y/o comercializados en Chile.

La Tabla siguiente muestra los F.E. seleccionados para aplicar en el presente inventario, los cuales fueron escogidos a partir de los resultados presentados en la base de nuevos F.E.

Tabla 22. Factores de emisión de MP10 para combustión residencial de leña.

Tipo de artefacto	Leña seca	Leña húmeda	Mala operación
Cocina a leña	7,5 <sup>1</sup>	13,9 <sup>1</sup>	33,8 <sup>2</sup>
Combustión lenta S/T	6,2 <sup>1</sup>	11,8 <sup>1</sup>	45,8 <sup>3</sup>
Combustión lenta C/T	5,2 <sup>1</sup>	11,0 <sup>1</sup>	29,5 <sup>4</sup>
Salamandra	12,7 <sup>1</sup>	28,5 <sup>1</sup>	-
Chimenea	10,1 <sup>5</sup>	28,5 <sup>6</sup>	-
Calefactor certificado	2,5 <sup>7</sup>	11,0 <sup>8</sup>	11,0 <sup>8</sup>
Nueva Tecnología	2,1 <sup>9</sup>	5,5 <sup>10</sup>	8,9 <sup>10</sup>
Calefactor a pellet	1,9 <sup>11</sup>	-	-

Fuente: Elaboración propia.

1. Corresponden a una propuesta de F.E. de SICAM INGENIERÍA, definida en base al análisis de los resultados obtenidos a partir del proyecto FONDEF D0811 147, ejecutado por la UCT. Se obtuvieron valores ponderados para las distintas especies utilizadas, alineados con resultados obtenidos en otros ensayos a nivel local e internacional, y coherentes con antecedentes bibliográficos internacionales en torno a la variación de emisiones según especies de leña.
2. Corresponden a una propuesta de F.E. de SICAM INGENIERÍA, definida en base a la experiencia desarrollada por sus profesionales, a través de mediciones realizadas *in situ*, y en laboratorio. Corresponde a una condición típica de las cocinas a leña, obtenida cuando se utiliza el horno para efectos de cocción de alimentos.
3. Corresponden a una propuesta de F.E. de SICAM INGENIERÍA, definida a partir del análisis de resultados presentados por el Laboratorio de Emisiones de la UCT, para un calefactor sin templador proveniente del programa de recambio de Coyhaique (previo a su chatarrización), operado con ingreso de aire completamente cerrado. El F.E. propuesto está en sintonía con resultados obtenidos en otros ensayos a nivel local e internacional, y coherentes con antecedentes bibliográficos internacionales en torno a la variación de emisiones según esta condición de mala operación.
4. Corresponden a una propuesta de F.E. de SICAM INGENIERÍA, definida en base al análisis de los resultados obtenidos a partir del proyecto FONDEF D0811 147, ejecutado por la UCT. Se obtuvieron valores ponderados para las distintas especies utilizadas, descartando aquellos valores que se comportan como *ouliers*, o que no representan el consumo de leña en la zona sur del país. El valor asignado se encuentra asignado con resultados obtenidos en otros ensayos a nivel local e internacional, y coherentes con antecedentes bibliográficos internacionales en torno a la variación de emisiones según especies de leña.
5. Corresponden a una propuesta de F.E. de SICAM INGENIERÍA, definida en base a resultados obtenidos en Laboratorio de Emisiones de la UCT, mediante mediciones realizadas a un artefacto tipo calefactor, pero que por adaptaciones realizadas después de años de uso, se opera como artefacto de hogar abierto, sin control de aire de combustión.
6. Corresponden a una propuesta de F.E. de SICAM INGENIERÍA. Corresponde al valor propuesto para Salamandras, ya que se sugiere que el comportamiento es similar en las condiciones señaladas.
7. Corresponden a una propuesta de F.E. de SICAM INGENIERÍA, definida en base a la experiencia desarrollada en la materia, basada, los antecedentes generados a través de los procesos de certificación de la EPA, mediciones de actuales modelos de artefactos fabricados en Chile.
8. Corresponden a una propuesta de F.E. de SICAM INGENIERÍA. Corresponde al valor propuesto para calefactores C/T, ya que se sugiere que el comportamiento es similar en las condiciones señaladas.
9. Corresponden a una propuesta de F.E. de SICAM INGENIERÍA, definida a partir de resultados de medición reportados por el Laboratorio de Emisiones de la UCT para ensayos realizados a un prototipo desarrollado por la industria local, con la asistencia técnica de un organismo experto internacional y la gestión de la autoridad ambiental local (medición estufas Sirius II, Gross, para una tasa de quemado promedio de 1,4 kg/h). Un resultado similar se obtuvo para un calefactor con templador operado con un filtro catalítico de empresa ECOFILTRO, medido por el Laboratorio de Ensayo DIRIGO, acreditado por la EPA.
10. Corresponden a una propuesta de F.E. de SICAM INGENIERÍA, definida en base a la experiencia desarrollada en la materia, específicamente en resultados de reducción alcanzados mediante el uso de convertidores catalíticos, bajo condiciones.
11. Corresponden a una propuesta de F.E. de SICAM INGENIERÍA, definida a partir de resultados de medición reportados por el Laboratorio de Emisiones de la UCT para ensayos a un calefactor a pellet importado y comercializado por una empresa de Temuco, y operada con pellet producido y comercializado en Chile.

Notar que todos los F.E. de MP10 fueron propuestos por SICAM INGENIERÍA, en base al análisis de resultados presentados en diversos proyectos, tanto de investigación científica, y como de estudios referenciales. La principal fuente de información correspondió al proyecto FONDEF D0811147, de "Investigación y Generación de Factores de Emisión de Contaminantes Atmosféricos para Artefactos Residenciales que Combustionan Biomasa de Relevancia Nacional", desarrollado por la Universidad Católica de Temuco, y cuyos resultados fueran presentados en el presente año 2014. Este proyecto obtuvo F.E. para 7 especies de leña, y 5 tecnologías de combustión residencial de leña, característicos del stock nacional, utilizando variables de humedad de la leña y modos de operación del artefacto identificados como representativos de la realidad local.

No obstante lo anterior, y a pesar de la envergadura del proyecto, en términos de los objetivos planteados y los recursos utilizados, para el presente estudio no fue posible contar con una bases de datos que permitiera profundizar en el análisis de los resultados, especialmente porque el informe final del proyecto de investigación no da cuenta de ningún tipo de análisis, comentarios ni observaciones en relación a los resultados presentados, razón por la cual, estos F.E. no fueron utilizados directamente, sino que fueron tomados como referencia para la construcción de los F.E. propuestos por SICAM INGENIERÍA.

Finalmente, se determinaron los F.E. de MP2,5, los cuales fueron propuestos por SICAM a partir de los F.E. de MP10 seleccionados previamente, a los cuales se les aplicó el factor de proporcionalidad sugerido por, Chow, J.C.; Watson, J.G., 1998, que señala que el 93,1% de las emisiones de MP10 provenientes de la combustión residencial de leña, corresponden a la fracción fina de MP2,5.

Tabla 23. Factores de emisión de MP2,5<sup>1</sup> para combustión residencial de leña.

Tipo de artefacto	Leña seca	Leña húmeda	Mala operación
Cocina a leña	7,0	13,0	31,5
Combustión lenta S/T	5,8	11,0	42,6
Combustión lenta C/T	4,9	10,2	27,5
Salamandra	11,8	34,1	-
Chimenea	9,2	26,6	-
Calefactor certificado	2,3	10,2	10,2
Nueva Tecnología	2,0	5,1	8,2
Calefactor a pellet	1,8	-	-

<sup>1</sup> Se considera que el 93,1% de las emisiones de MP10 corresponden a MP2,5.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2. FACTORES DE EMISIÓN DE CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, COV<sub>s</sub>, HAP<sub>s</sub>

De acuerdo a lo señalado al inicio del punto anterior, el o los F.E. más relevantes para el desarrollo del inventario de emisiones de la comuna de Valdivia, son el MP10 y MP2,5, debido a que son precisamente estos contaminantes los que determinan la condición de zona saturada que prevalece sobre ambas comunas. No obstante lo anterior, un buen inventario de emisiones debe ser capaz de representar todos los contaminantes presente en un área de estudio. De esta manera, la presente actualización del inventario de emisiones consideró, para la fuente combustión residencial de leña, la determinaron de F.E. para todos los contaminantes criterio.

Las Tablas siguientes muestran los F.E. seleccionados para los contaminantes indicados, para su aplicación en la presente actualización del inventario de emisiones, los cuales fueron escogidos, principalmente, a partir de los resultados obtenidos en los ensayos específicos de los cuales se tomaron los F.E. de MP, pero también de otros ensayos de mayor representatividad para el contaminante en evaluación.

Tabla 24. Factores de emisión de CO para combustión residencial de leña.

Tipo de artefacto	Leña seca	Leña húmeda	Mala operación
Cocina a leña	305,4	444,7	1.139,7
Combustión lenta S/T	207,1	443,1	584,7
Combustión lenta C/T	129,1	238,5	400,8
Salamandra	309,9	464,1	-
Chimenea	126,3	401,0	-
Calefactor certificado	90,0	238,5	238,5
Nueva Tecnología	10,0	71,6	120,2
Calefactor a pellet		-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Factores de emisión de NO<sub>x</sub> para combustión residencial de leña.

Tipo de artefacto	Leña seca	Leña húmeda	Mala operación
Cocina a leña	2,1	2,7	2,7
Combustión lenta S/T	2,0	3,0	3,0
Combustión lenta C/T	1,9	2,0	2,0
Salamandra	7,7	3,1	-
Chimenea	1,3	1,3	-
Calefactor certificado	1,9	2,0	5,3
Nueva Tecnología	1,9	2,0	5,3
Calefactor a pellet		-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Factores de emisión de SO<sub>2</sub> para combustión residencial de leña.

Tipo de artefacto	Leña seca	Leña húmeda	Mala operación
Cocina a leña	0,2	0,2	0,2
Combustión lenta S/T	0,1	0,0	0,2
Combustión lenta C/T	0,1	0,0	0,0
Salamandra	0,2	0,2	-
Chimenea	0,2	0,2	-
Calefactor certificado	0,1	0,0	0,0
Nueva Tecnología	0,1	0,0	0,0
Calefactor a pellet		-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Factores de emisión de COVs para combustión residencial de leña.

Tipo de artefacto	Leña seca	Leña húmeda	Mala operación
Cocina a leña	114,5	363,5	1.033,2
Combustión lenta S/T	26,5	84,1	241,2
Combustión lenta C/T	26,5	84,1	241,2
Salamandra	114,5	363,5	-
Chimenea	114,5	363,5	-
Calefactor certificado	26,5	84,1	241,2
Nueva Tecnología	26,5	84,1	241,2
Calefactor a pellet		-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Factores de emisión de HAPs para combustión residencial de leña.

Tipo de artefacto	Leña seca	Leña húmeda	Mala operación
Cocina a leña	1,1	1,6	1,6
Combustión lenta S/T	0,0	16,3	16,3
Combustión lenta C/T	0,3	14,6	14,6
Salamandra	2,0	1,6	-
Chimenea	2,0	1,6	-
Calefactor certificado	0,3	14,6	14,6
Nueva Tecnología	0,3	14,6	14,6
Calefactor a pellet		-	-

Fuente: Elaboración propia

## 5 DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE ACTIVIDAD DE FUENTES DE ÁREA ASOCIADAS AL CONSUMO RESIDENCIAL DE LEÑA

La combustión residencial de leña y las variables involucradas con esta práctica representan las variables más importantes para la estimación de emisiones atmosféricas en ciudades del sur de Chile. Esto ha quedado de manifiesto en todos los inventarios desarrollados a la fecha en las ciudades ubicadas al sur de la región metropolitana [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12].

A raíz de lo anterior, es de relevancia poder caracterizar de manera representativa el comportamiento de los usuarios en relación al uso de este combustible, según el área geográfica donde se desarrolla el inventario de emisión. Al respecto, se debe tener en consideración la metodología con que se realiza la caracterización, ya que se ha observado disparidad en los instrumentos utilizados para recoger la información desde el territorio.

De esta manera, para determinar el consumo de leña en la comuna de Valdivia, la contraparte técnica del estudio estableció como requerimiento, la aplicación de una encuesta que permitiese recolectar información sobre el consumo domiciliario de ambas comunas, a objeto de disponer de información actualizada para estimar las emisiones atmosféricas asociadas a esta fuente emisora.

### 5.1 DESARROLLO DE ENCUESTA PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE CONSUMO RESIDENCIAL DE LEÑA EN LA COMUNA DE VALDIVIA

De acuerdo a lo establecido en las bases de la Licitación, la contraparte técnica del estudio facilitaría el diseño de un instrumento estándar para el levantamiento de información referida al consumo residencial de leña en la comuna de Valdivia, el cual correspondería al instrumento desarrollado por la Universidad Austral de Chile en el marco del estudio "Encuesta de consumo energético para el sector residencial", ejecutado por dicha institución, y que estaba orientado a "Diseñar y aplicar un instrumento de recopilación de información asociada al consumo energético para calefacción y cocción del sector residencial que sirva como línea base tanto para la elaboración del Análisis General de Impacto Económico y Social de los Planes de Descontaminación como una herramienta de evaluación de las políticas ambientales implementadas por el MMA para 10 ciudades del centro sur de Chile".

No obstante lo anterior, el equipo técnico de SICAM INGENIERÍA a cargo de la elaboración del inventario de emisiones para la comuna de Valdivia, propuso a la contraparte técnica de la Seremi de Medio Ambiente de Los Ríos, la pertinencia de hacer ajustes técnicos en el diseño del instrumento facilitado, debido a que este no permitía recoger información útil a los propósitos del inventario de emisiones, y porque debido a su extensión (7 páginas), y lenguaje, presentaría dificultades de llevar a cabo exitosamente, considerando el número de encuestas

comprometidas, y el escaso tiempo disponible para su aplicación. Habiendo consenso en lo expuesto, SICAM INGENIERÍA rediseñó el instrumento, concentrándose en incorporar únicamente aquellos aspectos que fueran relevantes para conocer los niveles de actividad de la fuente "combustión residencial de leña".

### 2.1.1. Diseño del Instrumento

De acuerdo a lo señalado previamente, SICAM INGENIERÍA desarrolló una nueva encuesta para aplicar en la comuna de Valdivia, cuyo principal objetivo es determinar el consumo promedio de leña por vivienda, y a partir de este, estimar el consumo total de leña, desagregado según diferentes unidades de análisis.

La encuesta fue configurada en 5 módulos, a saber:

Módulo A: INFORMACIÓN PRELIMINAR

Módulo B: INFORMACIÓN DE LA VIVIENDA

Módulo C: ÍTEM EQUIPOS DE CALEFACCIÓN Y COCCIÓN

Módulo D: ÍTEM CONSUMO RESIDENCIAL DE LEÑA, PELLETS O BRIQUETAS Y FORMA DE ABASTECIMIENTO

Módulo E: ÍTEM CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS Y EFICIENCIA TÉRMICA DE LA VIVIENDA

Módulo F: ÍTEM PERCEPCIÓN/PROYECCIÓN DE CONSUMO Y USO DE ARTEFACTOS

El Anexo 3, muestra el instrumento desarrollado por SICAM INGENIERÍA para aplicar en el marco del presente proyecto, el que fue oportunamente validado por la contraparte técnica.

## 5.2 DISEÑO DE MUESTREO PARA APLICACIÓN DE LA ENCUESTA

El diseño muestral elaborado por SICAM INGENIERÍA para la aplicación de las encuestas, tomó como base el procedimiento estándar aplicado por la empresa en el estudio actualización del inventario de emisiones de las comunas de Temuco y Padre Las Casas, año base 2013. El cual consideró diversos aspectos metodológicos y operativos que permitieron configurar las mejores condiciones de representatividad del diseño muestral, debido a que no fue posible contar con los antecedentes de la actualización del Censo de población correspondiente al año 2012.

De esta manera, SICAM INGENIERÍA propuso ajustes importantes respecto de las metodologías aplicadas en estudios anteriores. De igual manera, se propusieron ajustes operativos para la aplicación del instrumento en las viviendas seleccionadas.

### Ajustes metodológicos:

Es importante destacar que para el desarrollo del presente estudio se consideró pertinente desagregar la población universo con la cual se expande la muestra, estableciendo una clasificación según época de construcción y tipología de viviendas, según el siguiente detalle:

Época de construcción: existen antecedentes que hacen suponer un comportamiento distinto para las variables estudiadas a través de la encuesta, principalmente consumo de leña, según época de construcción de las viviendas. Por ejemplo, viviendas construidas en las últimas décadas están sometidas a normas de construcción que no existían previamente, y cuyos alcances tienen incidencia en el uso de combustibles, por cuanto se asocian a mejoras en las características de aislación térmica.

Para efectos del presente estudio, se estableció la clasificación de viviendas antiguas y viviendas nuevas, de acuerdo a la siguiente definición:

**Viviendas antiguas:** Considera todas las viviendas ubicadas en el área urbana de la comuna de Valdivia, que hayan sido construidas hasta el año 2002 y se encuentren contabilizadas en los registros del Censo 2002.

**Viviendas nuevas:** Considera todas las viviendas ubicadas en el área urbana de la comuna de Valdivia, que hayan sido construidas a partir del año 2002 y que se hayan encontrado operativas durante el año 2013. Corresponde a viviendas que no se encuentran contabilizadas en los registros del Censo 2002, y que debido a la ausencia de registros oficiales del Censo 2012, debieron estimarse mediante vías alternativas.

Luego, la aplicación del instrumento "Encuesta de caracterización residencial en relación al uso de leña y sus artefactos de combustión" será aplicado en ambas clasificaciones de viviendas, antiguas y nuevas, según criterios del Diseño muestral.

Tipología de viviendas: Al igual que lo argumentado en el caso anterior, la evolución de los últimos años deja de manifiesto que una fracción importante del universo de viviendas corresponde al tipo departamentos, los cuales tienen un comportamiento distinto en el uso de la leña y equipos de calefacción comparado con viviendas tipo casa. Por ejemplo, existen departamentos que se calefaccionan con leña, pero mediante el uso de calderas centralizadas de calefacción, de gran potencia, cuyas emisiones son evaluadas a través de otra metodología y categoría de fuentes. En este mismo sentido, para la aplicación de encuestas y posterior expansión de la muestra se sugiere considerar solo las viviendas ocupadas, ya que tal como retratan las cifras del Censo 2002, una parte importante de las viviendas que es contabilizada en el total de viviendas del área urbana, se encuentra en situación de abandono o pasan gran parte del tiempo desocupadas.

En la Tabla 29 se muestra la distribución del tipo de viviendas en el área urbana de la comuna de Valdivia, según antecedentes oficiales contenidos en los datos del Censo 2002.

Tabla 29. Distribución de viviendas urbanas en la comuna de Valdivia, según Censo 2002.

TIPO DE VIVIENDA	TOTAL
Viviendas tipo casa	31.592
Viviendas tipo departamento	2.740
Viviendas tipo otras	2.054
<b>Total viviendas antiguas</b>	<b>36.386</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Censo 2002.

Respecto a las viviendas identificadas con la denominación "viviendas tipo "otras", el INE establece que estas corresponden mayoritariamente al subtipo mediagua, colectivo, piezas en conventillo, y otras viviendas. En adelante, para efectos del presente estudio, esta tipología de viviendas será sumada a las viviendas tipo casa, haciendo el supuesto que tiene un comportamiento similar en cuanto al uso de leña y equipos de calefacción.

De esta manera, el planteamiento realizado por SICAM INGENIERÍA para elaborar el Diseño Muestral considera la siguiente clasificación:

**Viviendas tipo casa:** corresponde a toda construcción permanente con entrada directa desde la calle, jardín o terreno (casa pareada, casa de cité, pabellón, casa al interior, etc.). Considera además las viviendas tipo "otras".

**Viviendas tipo departamento:** corresponde a toda vivienda ubicada en un edificio con entrada independiente desde un pasillo, escala u otro espacio común.

Luego, la aplicación del instrumento "Encuesta de caracterización residencial en relación al uso de leña y sus artefactos de combustión" será aplicada únicamente en viviendas tipo casa.

Variables y aspectos relevantes del diseño muestral

**Variables a investigar:**

La principal variable a investigar es el *"Consumo de leña por vivienda"*, el cual corresponde a la cantidad promedio de leña consumida por una vivienda en un periodo de un año, en los distintos usos que se le dé, ya sea calefaccionar, cocinar u otros. Esta variable es entendida como el total de leña, efectivamente consumida en la vivienda en la cual se aplica la encuesta, durante un año calendario. La unidad de medición de esta variable es declarada por el encuestado, la que posteriormente es estandarizada a valores de m<sup>3</sup> estéreos, para efectos de análisis y discusiones.

**Población objetivo y marco muestral:**

Para efectos del presente estudio, la población que será estudiada corresponde a los habitantes de la comuna de Valdivia. Mientras que el Marco muestral a usar para la aplicación de las encuestas es aquel basado en los datos de viviendas contenidos en el Censo de población del año 2002, para viviendas antiguas, y estimaciones basadas en los datos preliminares del Censo 2012, para viviendas nuevas.

**Tipo de muestreo:**

Se utilizó planes de muestreo mediante muestreo estratificado y conglomerado en dos etapas. Los estratos corresponden a las zonas censales. Para las viviendas nuevas, y dado que no se dispuso de una fuente de estratificación o zonificación al interior, se usó muestreo estratificado en una etapa.

En cada estrato, las unidades de muestreo corresponden a:

**Unidades Primarias de Muestreo (UPM):** constituidas por las manzanas de empadronamiento censal (conglomerado de viviendas). Las UPM son seleccionadas al azar.

**Unidades Secundarias de Muestreo (USM):** constituidas por viviendas particulares ocupadas en forma permanente al momento de la actualización. Por cada manzana seleccionada, se considera que se seleccionan al azar 3 viviendas.

Tabla 30. Esquema de muestreo a utilizar.

Etapa de selección	Unidad de selección	Probabilidad de selección
1	Manzanas censales (UPM)	Igual probabilidad, muestreo aleatorio simple.
2	Viviendas (USM)	Igual probabilidad, muestreo aleatorio simple.

Fuente: Elaboración propia.

Constitución de la muestra

El tamaño de la muestra fue definido de acuerdo a la siguiente expresión:

$$n \geq \frac{4N \sum N_h S_h^2}{N^2 e^2 + 4 \sum N_h S_h^2}$$

Donde:

- N : Número total de manzanas
- N<sub>h</sub> : Número de manzanas del estrato h
- S<sub>h</sub> : Coeficiente de variación del estrato h
- e : Error relativo con respecto al valor esperado de la variable en estudio.

El coeficiente de variación del consumo de leña por hogar fue tomado de los resultados preliminares obtenidos en el estudio desarrollado para la comuna de Temuco, en el marco de la actualización del inventario de emisiones atmosféricas, año base 2013, realizado por SICAM INGENIERÍA, y que correspondió al valor de 4,7. Respecto al error, se consideró un valor de 0,5 m<sup>3</sup> de leña. Además, una vez determinado el número total de manzanas, se consideró pertinente aplicar un efecto de diseño (1,2), aumentando el número de manzanas seleccionadas. Finalmente, para determinar el número de encuestas a aplicar, se consideró un estándar de 3 encuestas por manzana.

Luego, el diseño muestral contempló la selección 347 manzanas del área urbana de la comuna de Valdivia, con 259 manzanas correspondientes al área de viviendas antiguas (construidas hasta el año 2002) y 88 manzanas correspondientes al área de viviendas nuevas (construidas entre el año 2003 y 2013). A partir de esto, el diseño muestral considera la selección de 3 viviendas por cada manzana, a las cuales se les aplicará la encuesta, obteniendo una muestra total de 1.042 encuestas. Esto, es coherente con la cifra presentada en la propuesta, acorde al tiempo disponible y el presupuesto del proyecto.

La selección de las manzanas en cada Zona Censal se realizó mediante la opción 'sample()' del programa R, según la estructura que se muestra en la Tabla siguiente.

Tabla 31. Diseño muestral para la comuna de Valdivia.

DISTRITO	Código ZONA CENSAL	No. Total de MANZANAS	N° de Manzanas SELECCIONADAS	N° de ENCUESTAS ASIGNADAS
(01) Camilo Henríquez	001	28	6	18
(02) Isla Teja	001	58	9	27
(03) Mercedes	001	29	3	9
(04) Las Ánimas	001	41	10	30
	002	7	3	9
	003	23	6	18
(05) Estación	001	57	7	21
	002	45	5	15
	003	39	7	21
	004	12	3	9
	005	36	6	18
(06) Huelلهhue	001	25	4	12
	002	45	5	15
	003	45	9	27
	004	46	14	42
	005	33	6	18
	006	13	2	6
(07) Teniente Merino	001	42	9	27
	002	54	9	27
	003	43	10	30
	004	43	11	33
(08) Las Mulatas	001	66	13	39
	002	15	5	15
	003	77	15	45
	004	201	40	120
(09) Pantano	001	23	7	21
	002	29	10	30
(10) Aguirre	001	17	4	12
	002	27	7	21
	003	26	5	15
(17) Niebla	001	41	9	27
Viviendas Nuevas	-	432	88	265
TOTAL	-	1.717	347	1.042

Fuente: Elaboración propia.

### Aplicación de la encuesta según diseño muestral

La aplicación de la encuesta en la comuna de Valdivia se enmarca en el desarrollo del inventario de emisiones atmosféricas, al año base 2013. Su ejecución fue desarrollada íntegramente por SICAM INGENIERÍA, empresa a cargo del desarrollo de este, el primer inventario de emisiones atmosféricas de la comuna, entre los meses de octubre y noviembre de 2014, y contempló un total de 1.042 encuestas efectivamente aplicadas.

La siguiente imagen corresponde a un ejemplo de la carpeta tipo entregada a los encuestadores para el trabajo en terreno, con encuestas, mapas de la manzana donde se debe aplicar el instrumento y una credencial de identificación del encuestador.

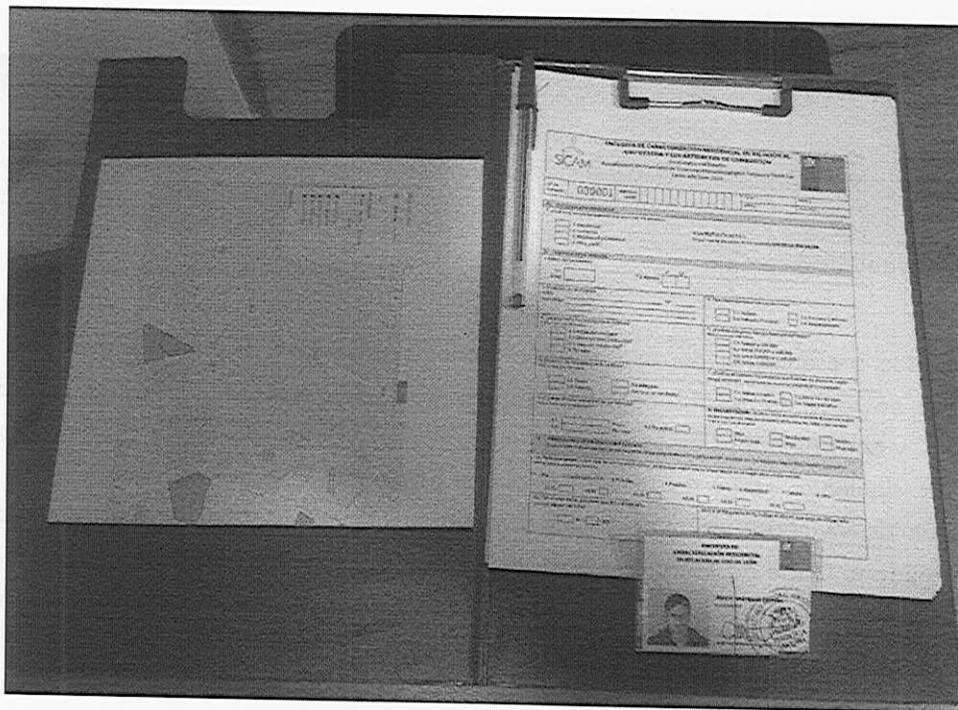


Figura 14. Carpeta con materiales de terreno utilizada por encuestadores.

De manera paralela a la etapa de aplicación de la encuesta se configuró un archivo para la digitación de la misma, que se inició en el mes de noviembre, luego que el supervisor visara cada una de las encuestas aplicadas para confirmar su validez. Con todas las encuestas aplicadas, y los datos ya tabulados, se pudo iniciar el proceso de análisis.

### 5.3 RESULTADOS DE LA ENCUESTA

A continuación se presentan los principales resultados obtenidos de la aplicación de la "Encuesta de caracterización residencial en relación al uso de leña y sus artefactos de combustión", los que afectan directamente en la estimación de emisiones atmosféricas asociados a la fuente combustión residencial de leña. En el Anexo 4 se puede consultar en extenso todas las variables consideradas en el desarrollo la encuesta, el diseño muestral, aspectos operativos de su aplicación en terreno y respuesta a todas la preguntas formuladas.

Para efectos de facilitar la presentación y análisis de resultados se utilizará la nomenclatura señalada en la Tabla 32.

Tabla 32. Nomenclatura para identificar la unidad de análisis territorial.

SIGLA	TOTAL
A_Valdivia	Corresponde a viviendas antiguas de Valdivia
N_Valdivia	Corresponde a viviendas nuevas de Valdivia
T_Valdivia	Corresponde a viviendas totales de Valdivia

Fuente: Elaboración propia

Los resultados presentados corresponden al análisis de 968 encuestas procesadas como válidas, de un total de 1.042 consideradas en el diseño muestral, logrando un 93% de efectividad, y convirtiéndose en la encuesta más grande y detallada realizada en la zona de estudio. La siguiente Tabla muestra el total de encuestas aplicadas, diferenciadas según clasificación de viviendas establecido en el diseño muestral, a saber, viviendas antiguas y viviendas nuevas. Cabe destacar que para la ejecución de la presente campaña de toma de encuestas, el equipo consultor propuso un mecanismo a través del cual se minimizara el retorno de encuestas vacías, o sin aplicar, y se maximizara la recogida de información.

Tabla 33. Resumen campaña de toma de encuestas en comuna de Valdivia, 2014.

Alcance	TOTAL	A_Valdivia	N_Valdivia
Diseño muestral <sup>1</sup>	1.042	777	265
Encuestas Aplicadas	1.055	790	264
Encuestas Validas <sup>2</sup>	968	706	262

<sup>1</sup> El diseño muestral solo consideró aplicación de encuestas en viviendas "tipo casa".

<sup>2</sup> Se consideró encuestas válidas solo aquellas aplicadas en viviendas Particulares y Particulares-Comerciales.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo definido al inicio del proceso, se consideró válido para efecto del presente estudio, solo aquellas encuestas aplicadas en viviendas que fueran utilizadas para residencia (particulares), o que en su defecto, cumplieran doble función, residencial y comercial. De esta manera, la diferencia obtenida entre encuestas aplicadas y encuestas válidas se asocia a la cantidad de encuestas aplicadas en categorías de viviendas distintas a las señaladas o bien fueron devueltas en Blanco.

En primera instancia se presentan los resultados obtenidos para la principal variable del estudio, consumo promedio de leña, incluyendo además, la proporción de viviendas que consumen leña, segregado según clasificación de viviendas. Según se puede observar, tanto el consumo promedio de leña, como la proporción de hogares que utilizan este combustible, resulta mayor en viviendas antiguas, lo que avala la pertinencia de haber utilizado esta segregación en el diseño muestral.

Tabla 34. Consumo promedio de leña por vivienda (m<sup>3</sup>/año), y proporción de uso (%), según clasificación de viviendas en la comuna de Valdivia.

Alcance	TOTAL	A_Valdivia	N_Valdivia
Consumo promedio (m <sup>3</sup> )	10,1	10,8	8,2
Proporción (%)	91,9	92,8	89,7

Fuente: Elaboración propia

De igual manera, otro de los principales resultados a presentar corresponde a la caracterización del tipo de artefactos presentes en la zona de estudio, ya que a partir de su distribución y consumo de leña en cada uno de ellos se determina el nivel de emisiones contaminantes generadas a partir de su operación. Se puede observar que la mayor cantidad de artefactos corresponde a calefactores de combustión lenta con templador (48,6%), seguido de cocinas a leña (32,1%). En la Tabla 35 se muestran la distribución del tipo de artefactos utilizados en la comuna, desagregado según la clasificación de viviendas considerada en el diseño muestral.

Tabla 35. Distribución porcentual del stock de artefactos a leña, según clasificación de viviendas en la comuna de Valdivia.

Alcance	TOTAL	A_Valdivia	N_Valdivia
Combustión lenta C/T	48,6 %	41,1 %	73,1 %
Combustión lenta S/T	13,3 %	13,7 %	12,0 %
Cocina a leña	32,1 %	38,4 %	11,2 %
Salamandra	1,8 %	1,8 %	1,6 %
Chimenea	4,2 %	4,9 %	2,0 %
Calefactor a pellet	0,1 %	0,1 %	0,0 %

Fuente: Elaboración propia.

Si se considera la distribución del tipo de artefactos, según clasificación de viviendas antiguas y viviendas nuevas, se observan diferencias significativas que reflejan tendencias claras que ayudan a proyectar escenarios futuros de manera más representativa, en términos del stock de artefactos y su distribución en la zona de estudio. Se observa que en viviendas nuevas (construidas después del año 2002), predomina ampliamente el uso de calefactores con templador, y prácticamente no se utilizan artefactos del tipo salamandras y chimeneas.

Luego, consultados por la antigüedad de los equipos de combustión residencial de leña declarados, los encuestados señalan que aproximadamente el 50% de estos artefactos corresponden a equipos de hasta 5 años de antigüedad, sobre el 78% tendría una antigüedad de hasta 10 años, mientras que solo un 7% tendría una antigüedad sobre 20 años.

Tabla 36. Antigüedad del parque de artefactos a leña presente en la comuna de Valdivia.

Antigüedad	Distribución
Entre 1 - 5	49,8%
Entre 6 - 10	28,1%
Entre 11 - 20	15,7%
Más de 20	6,5%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados son coherentes, y muestran cierto grado de acoplamiento con los resultados mostrados en la Tabla 35 donde se muestra un alto porcentaje de participación de artefactos tipo combustión lenta con templador, especialmente en viviendas nuevas, los que cuentan con un desarrollo tecnológico más reciente y menos precario, respecto del parque actual. Por otra parte, en la misma tabla se muestra una muy baja participación de artefactos tipo salamandra y chimeneas, reconocidos por su baja eficiencia y alto nivel de emisiones, siendo probablemente los artefactos de fabricación más antigua.

Otro antecedente muy importante recabado a través de la encuesta, corresponde a las prácticas utilizadas por los usuarios para operar sus artefactos de combustión, específicamente, la práctica asociada a la manipulación del control de ingreso de aire primario de combustión, por cuanto determinan el F.E. a utilizar en la estimación de emisiones. Es importante destacar que esta condición es relevante en el uso de los calefactores de combustión lenta, ya sea con templador o sin templador, para los cuales una mala operación se relaciona con la manipulación del control de ingreso de aire primario de combustión, específicamente con la restricción de este mediante la regulación de la manilla de control. También es importante esta condición en la operación de cocinas a leña, ya que si bien la mala operación no se relaciona con la restricción al aire de combustión, si estaría relacionada con la manipulación del dámper

que defleca la trayectoria de los gases de combustión a través del horno de la cocina, ralentizando el proceso de combustión, enfriando la cámara y con consecuencias en el aumento de emisiones contaminantes.

En esta oportunidad, a diferencia de otros estudios desarrollados previamente en el país, a través de la presente encuesta se logró caracterizar el modo de operación de este tipo de artefactos, según la clasificación de viviendas antiguas y viviendas nuevas, y según la jornada de uso de los mismos, es decir, modo de operación durante el día y modo de operación durante la noche.

Tabla 37. Manipulación del ingreso de aire de combustión en artefactos de combustión lenta, según jornadas de uso del artefacto.

MODO DE OPERACIÓN	A_ Valdivia		N_ Valdivia	
	Día	Noche	Día	Noche
Abierto	8,8%	2,0%	2,3%	0,5%
Medio	57,2%	12,0%	50,2%	11,4%
Cerrado	34,0%	85,9%	47,4%	88,2%

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a lo mostrado en la Tabla anterior, existe un gran número de usuarios de la comuna de Valdivia, que cierra completamente el regulador que controla el ingreso de aire primario de combustión en calefactores de combustión lenta, sin templador y/o con templador, lo cual se acentúa en la jornada de la noche.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para el consumo anual promedio de leña en la comuna de Valdivia (m<sup>3</sup>), y la proporción de viviendas que la consumen (%), segregado a nivel de zona censal y clasificación de viviendas del área urbana. Notar que para las viviendas nuevas de la comuna de Valdivia, se presentan resultados de manera agregada y no distribuidos en función de las zonas censales donde se han desarrollado los proyectos inmobiliarios, lo que obedece al diseño del plan de muestral original, que no contaba con distribución espacial de viviendas construidas a partir del año 2002, debido a la no disponibilidad de antecedentes oficiales, principalmente por la no disponibilidad del Censo del año 2012.

Tabla 38. Consumo promedio de leña por vivienda (m<sup>3</sup>/año), y proporción de uso (%), según clasificación de viviendas en los distritos censales de la comuna de Valdivia.

DISTRITO		Código ZONA CENSAL	Consumo promedio Leña (m <sup>3</sup> )	Viviendas consumen Leña (%)
VIVIENDAS ANTIGUAS	(01) Camilo Henríquez	001	18,8	100,0
	(02) Isla Teja	001	13,0	80,0
	(03) Mercedes	001	19,0	50,0
	(04) Las Ánimas	001	11,4	100,0
		002	15,0	100,0
		003	10,0	96,0
	(05) Estación	001	11,7	100,0
		002	14,0	100,0
		003	11,7	92,9
		004	13,0	80,0
		005	10,5	91,7
	(06) Huellehue	001	12,0	100,0
		002	10,6	100,0
		003	10,	92,3
		004	8,7	92,5
		005	10,7	95,0
		006	11,6	100,0
	(07) Teniente Merino	001	9,7	100,0
002		10,6	88,0	
003		9,6	93,1	
004		9,8	97,1	
(08) Las Mulatas	001	10,7	94,9	
	002	11,0	78,6	
	003	11,2	97,7	
(09) Pantano	004	9,2	87,3	
	001	10,1	76,5	
	002	12,9	92,0	
(10) Aguirre	001	13,4	100,0	
	002	13,9	100,0	
	003	10,7	93,5	
(17) Niebla	001	9,6	92,6	
VIVIENDAS NUEVAS		-	8,2	89,7
<b>TOTAL</b>		<b>-</b>	<b>10,1</b>	<b>91,9</b>

Fuente: Elaboración propia.

## 6 ESTIMACIÓN DE EMISIONES

### 6.1 CONSIDERACIONES Y AJUSTES PARA EL ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el transcurso de la ejecución de la campaña de aplicación de encuestas, el equipo de SICAM INGENIERÍA consideró pertinente reforzar los antecedentes disponibles para la expansión de la muestra, recabados en la fase previa a la elaboración del Diseño Muestral, que inicialmente contempló en un periodo muy acotado de tiempo.

De acuerdo a lo señalado previamente, el número de viviendas nuevas fue obtenido a partir de los datos preliminares del Censo 2012. Luego, para la definición del Diseño Muestral se realizó una distribución de estas viviendas, según mayores zonas de crecimiento observadas en la comuna de Valdivia. No obstante lo anterior, a partir del trabajo en terreno, se determinó necesario realizar un nuevo ajuste al marco muestral, ya que las cifras proyectadas en los resultados preliminares del Censo 2012 no reflejarían la cantidad real de proyectos inmobiliarios en la comuna de Valdivia ejecutados a partir del año 2002, lo que afectaría la expansión de resultados de la encuesta.

De esta manera, para el siguiente ajuste el consultor optó por realizar un trabajo que, aunque tedioso, representa un mejor acercamiento al número real de viviendas construidas a partir del año 2002, que para efectos del presente estudio han sido clasificadas bajo la denominación de viviendas nuevas, por cuanto se realiza sobre una base de datos actualizada, haciendo uso de las herramientas tecnológicas disponibles. En específico, se realizó un conteo del número y distribución de viviendas nuevas mediante una revisión de imágenes de alta resolución obtenidas a partir de Google Earth, para el área urbana de la comuna de Valdivia, logrando establecer que el número de viviendas nuevas alcanza las 6.279 viviendas tipo casa, un resultado significativamente menor que el estimado a partir de los resultados preliminares del Censo 2012, correspondiente a 11.392 viviendas<sup>7</sup>.

En la Figura 15 se muestra una de las imágenes obtenidas de Google Earth, en la cual el equipo técnico de SICAM INGENIERÍA trazó los polígonos que demarcan el desarrollo de proyectos inmobiliarios levantados a partir del año 2002 (tipo casa), con villas o poblaciones nuevas, en los cuales posteriormente se realizó el conteo de viviendas, y un recorrido en terreno para verificar vigencia de las imágenes. En el Anexo 4 se adjunta un archivo digital en formato .kml, con la identificación de las zonas de crecimiento de la comuna de Valdivia, que incluye la demarcación de polígonos, y el detalle de las viviendas construidas al interior de cada uno de ellos.

<sup>7</sup> Estimación de viviendas tipo casa para el área urbana de la comuna de Valdivia, calculada a partir de Resultados Preliminares del Censo de Población y Vivienda 2012, del Instituto Nacional de Estadísticas, INE.



Figura 15. Delimitación de zonas de crecimiento en la comuna de Valdivia, y conteo de viviendas.

Las líneas amarillas marcadas en la imagen corresponden a la demarcación de distritos y zonas censales del área urbana de la comuna de Valdivia, según antecedentes del Censo de Población y Vivienda del año 2002. Luego, y como es de esperar producto del crecimiento de población, se observa que gran parte de las viviendas construidas a partir del año 2002, se ubican en las afueras de los márgenes establecidos para el área urbana. De esta manera, para efectos del presente estudio, análisis y presentación de resultados, el equipo técnico de SICAM INGENIERÍA consideró pertinente adosar el número de viviendas nuevas a las zonas ya establecidas para el área urbana, distribuyendo según las zonas censales más próximas al área de emplazamiento de los proyectos inmobiliarios.

En la Tabla 39 se muestra la distribución de viviendas obtenida a través del procedimiento señalado en el párrafo anterior, y considerando además la clasificación de viviendas utilizada en el diseño muestral.

Tabla 39. Distribución de viviendas según clasificación utilizada en el diseño muestral, según zona censal de la comuna de Valdivia (N°).

DISTRITO	Código ZONA CENSAL	No. Viviendas Antiguas	No. Viviendas Nuevas
<b>(01) Camilo Henríquez</b>	001	871	-
<b>(02) Isla Teja</b>	001	1.158	-
<b>(03) Mercedez</b>	001	498	-
<b>(04) Las Ánimas</b>	001	1.324	770
	002	355	-
	003	862	512
<b>(05) Estación</b>	001	989	340
	002	647	-
	003	863	-
	004	422	-
	005	913	-
<b>(06) Huellehue</b>	001	475	-
	002	651	-
	003	1.079	-
	004	1.770	-
	005	771	-
	006	363	-
<b>(07) Teniente Merino</b>	001	1.080	-
	002	1.171	-
	003	1.259	508
	004	1.379	1.023
<b>(08) Las Mulatas</b>	001	1.582	350
	002	647	1.522
	003	1.820	1.254
	004	5.065	-
<b>(09) Pantano</b>	001	954	-
	002	1.326	-
<b>(10) Aguirre</b>	001	549	-
	002	869	-
	003	728	-
<b>(17) Niebla</b>	001	1.158	-
		33.598	6.279

Fuente: Elaboración propia.

0281

## 6.2 NIVELES DE ACTIVIDAD

Luego del ajuste presentado para el marco muestral, y a partir de los resultados obtenidos mediante la aplicación de la "Encuesta de caracterización residencial en relación al uso de leña y sus artefactos de combustión", se determinaron los niveles de actividad a utilizar en la estimación de emisiones.

En la Tabla 40 se muestra el consumo de leña para cada zona censal del área urbana de la comuna de Valdivia, desagregado según clasificación de viviendas empleado en el diseño muestral.

Por otra parte, la Tabla 41 muestra la distribución del tipo de artefactos utilizados en cada una de las zonas censales del área urbana de la comuna de Valdivia. Los datos presentados corresponden a la distribución agregada de viviendas antiguas y viviendas nuevas. La distribución segregada puede ser consultada en el Anexo 4, correspondiente al detalle de resultados de la encuesta.

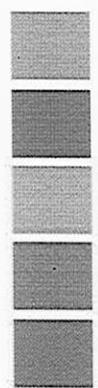


Tabla 40. Consumo de leña según zona censal de la comuna de Valdivia (m3/año).

UNIDAD TERRITORIAL		CONSUMO DE LEÑA (M3/AÑO)		
DISTRITO	Código ZONA CENSAL	Viviendas antiguas	Viviendas nuevas	Consumo Total
(01) Camilo Henríquez	001	16.390,6	-	16.390,6
(02) Isla Teja	001	12.014,3	-	12.014,3
(03) Mercedez	001	4.731,0	-	4.731,0
(04) Las Ánimas	001	15.093,6	5.778,2	20.871,8
	002	5.325,0	-	5.325,0
	003	8.269,7	3.842,1	12.111,8
(05) Estación	001	11.606,2	1.951,6	13.557,8
	002	9.083,9	-	9.083,9
	003	9.357,4	-	9.357,4
	004	4.388,8	-	4.388,8
	005	8.745,8	-	8.745,8
(06) Huellethue	001	5.689,4	-	5.689,4
	002	6.878,0	-	6.878,0
	003	10.263,8	-	10.263,8
	004	14.309,6	-	14.309,6
	005	7.848,8	-	7.848,8
	006	4.209,3	-	4.209,3
(07) Teniente Merino	001	10.443,6	-	10.443,6
	002	10.903,4	-	10.903,4
	003	11.202,5	3.522,3	14.724,7
	004	13.175,9	6.485,8	19.661,8
(08) Las Mulatas	001	15.987,9	2.741,7	18.729,6
	002	5.584,5	15.727,3	21.311,9
	003	19.828,7	9.496,8	29.325,5
	004	40.535,9	-	40.535,9
(09) Pantano	001	7.398,6	-	7.398,6
	002	15.710,4	-	15.710,4
(10) Aguirre	001	7.356,6	-	7.356,6
	002	12.090,7	-	12.090,7
	003	7.303,3	-	7.303,3
(17) Niebla	001	10.339,7	-	10.339,7
		342.066,8	49.545,9	391.612,7

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41. Distribución del tipo de artefactos utilizados, según Zona Censal de la comunas de Valdivia, año base 2013.

Distritos	Zona	Combustión Lenta C/T	Combustión Lenta S/T	Cocina a Leña	Salamandra	Chimenea y otros
Camilo Henríquez	Z1	14,3%	35,7%	42,9%	7,1%	0,0%
Isla Teja	Z1	50,0%	16,7%	8,3%	0,0%	25,0%
Mercedez	Z1	0,0%	0,0%	66,7%	0,0%	33,3%
Las Ánimas	Z1	38,6%	16,9%	34,9%	2,4%	7,2%
	Z2	50,0%	0,0%	50,0%	0,0%	0,0%
	Z3	51,5%	0,0%	48,5%	0,0%	0,0%
Estación	Z1	55,1%	10,2%	30,6%	0,0%	4,1%
	Z2	17,4%	26,1%	52,2%	0,0%	4,3%
	Z3	44,4%	16,7%	38,9%	0,0%	0,0%
	Z4	12,5%	37,5%	50,0%	0,0%	0,0%
	Z5	0,0%	33,3%	66,7%	0,0%	0,0%
Huellehue	Z1	46,2%	23,1%	30,8%	0,0%	0,0%
	Z2	44,4%	0,0%	38,9%	5,6%	11,1%
	Z3	31,3%	12,5%	56,3%	0,0%	0,0%
	Z4	48,8%	11,6%	25,6%	4,7%	9,3%
	Z5	61,9%	0,0%	38,1%	0,0%	0,0%
	Z6	57,1%	0,0%	42,9%	0,0%	0,0%
Teniente Merino	Z1	61,1%	5,6%	30,6%	2,8%	0,0%
	Z2	50,0%	7,1%	42,9%	0,0%	0,0%
	Z3	62,7%	13,6%	20,3%	1,7%	1,7%
	Z4	65,8%	13,2%	19,7%	0,0%	1,3%
Las Mulatas	Z1	75,8%	3,0%	18,2%	0,0%	3,0%
	Z2	73,7%	5,3%	21,1%	0,0%	0,0%
	Z3	54,4%	23,7%	12,3%	1,8%	7,9%
	Z4	34,0%	11,0%	51,0%	3,0%	1,0%
Pantano	Z1	20,0%	26,7%	46,7%	0,0%	6,7%
	Z2	26,7%	20,0%	30,0%	6,7%	16,7%
Aguirre	Z1	46,2%	15,4%	30,8%	0,0%	7,7%
	Z2	31,8%	13,6%	27,3%	13,6%	13,6%
	Z3	61,1%	11,1%	27,8%	0,0%	0,0%
Niebla	Z1	69,2%	0,0%	26,9%	3,8%	0,0%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presentan estimaciones referentes a la cantidad o stock total de artefactos de combustión residencial de leña presentes en la comuna de Valdivia, desagregados según tipo de artefacto y distribuido según clasificación de viviendas empleada en el diseño muestral. Los valores presentados fueron obtenidos de la sumatoria correspondiente a la cantidad de artefactos presentes en cada zona censal. La cantidad total de artefactos por zona censal puede ser consultada en el Anexo 4, correspondiente a la presentación de resultados de la encuesta.

Tabla 42. Cantidad de artefactos que consumen leña en uso en la comuna de Valdivia, año 2013.

ARTEFACTO	Total	A_ Valdivia	N_ Valdivia
Combustión Lenta C/T	19.696	15.420	4.276
Combustión Lenta S/T	6.036	5.491	545
Cocina a Leña	15.494	14.952	542
Salamandra	814	743	71
Chimenea y otras	2.084	2.010	74
<b>TOTAL</b>	<b>44.125</b>	<b>38.617</b>	<b>5.508</b>

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el uso de calefactores a leña del tipo "combustión lenta con templador" predomina ampliamente respecto al uso de otras tecnologías de combustión residencial de leña, especialmente en viviendas nuevas (construidas después del año 2002), donde prácticamente no se utilizan artefactos del tipo salamandras y chimeneas.

La siguiente Tabla muestra una estimación del consumo de leña según el tipo de artefactos presentes en la comuna de Valdivia.

Tabla 43. Consumo de leña (m3) según tipo de artefactos en uso en la comuna de Valdivia, año 2013

ARTEFACTO	Total	A_ Valdivia	N_ Valdivia
Combustión Lenta C/T	171.406	136.481	34.926
Combustión Lenta S/T	54.487	49.539	4.948
Cocina a Leña	123.171	118.057	5.114
Salamandra	5.228	4.746	482
Chimenea y otras	24.150	23.282	869
Calefactores a pellet	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>378.442</b>	<b>332.104</b>	<b>46.338</b>

Fuente: Elaboración propia en base a encuesta de leña 2014, efectuada en el marco del presente estudio.

Para facilitar la presentación y análisis de los resultados asociados a las principales variables estudiadas a través de la aplicación de la encuesta, las Tablas y gráficas siguientes se presentan con información agregada, a nivel de Distrito Censal, de las estimaciones correspondientes al consumo de leña y número de artefactos de combustión residencial de leña presentes en el área urbana de la comuna de Valdivia.

Tabla 44. Consumo de leña (m<sup>3</sup>/año) según Distrito Censal de la comuna de Valdivia, año 2013.

DISTRITO	Consumo de leña (m <sup>3</sup> /año)
Camilo Henríquez	16.390,6
Isla Teja	12.014,3
Mercedez	4.731,0
Las Ánimas	38.308,6
Estación	45.133,6
Huellehue	49.198,9
Teniente Merino	55.733,5
Las Mulatas	109.902,9
Pantano	23.109,0
Aguirre	26.750,6
Niebla	10.339,7
<b>Total</b>	<b>391.612,7</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45. Cantidad de artefactos según Distrito Censal de la comuna de Valdivia, año 2013.

DISTRITO	Combustión Lenta C/T	Combustión Lenta S/T	Cocina a Leña	Salamandra	Chimenea y otros	Total Distrito
Camilo Henríquez	158	396	475	79	-	1.109
Isla Teja	463	154	77	-	232	926
Mercedez	-	-	249	-	125	374
Las Ánimas	1.594	539	2.000	67	306	4.505
Estación	1.363	1.313	2.754	-	137	5.567
Huellehue	2.800	546	2.275	132	264	6.016
Teniente Merino	3.847	905	2.054	57	84	6.947
Las Mulatas	6.905	1.289	3.688	186	416	12.485
Pantano	593	543	870	106	321	2.433
Aguirre	1.201	352	752	145	200	2.649
Niebla	772	-	300	43	-	1.115
<b>Total Artefactos</b>	<b>19.696</b>	<b>6.036</b>	<b>15.494</b>	<b>814</b>	<b>2.084</b>	<b>44.125</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 6.3 CÁLCULO DE EMISIONES

Para el cálculo de emisiones, además de los antecedentes mostrados previamente, se utilizaron los factores de emisión detallados entre las Tablas 22 y 25 y la información resultante de la encuesta, salvo los niveles de humedad de ésta. Debido a que los consumos son entregados en m<sup>3</sup> de leña y los factores de emisión tienen la unidad de gr de contaminante por kg de combustible, fue necesaria la transformación de los niveles de consumo de m<sup>3</sup> a kg. Esta transformación de unidades resulta ser de gran importancia, ya que al analizar los cálculos realizados en el inventario anterior, se pudo observar que el factor de conversión utilizado fue de una densidad de 500 kg/m<sup>3</sup>, sin distinguir entre leña con distinto contenido de humedad.

La metodología empleada en la presente actualización, utilizó los datos de densidad determinados por el INFOR en el "Estudio del mercado de la leña en la ciudad de Chillán, 2005", en el que a través de pruebas de campo y mediciones en laboratorio, se logró determinar la densidad para diversas especies de leña utilizadas en la zona centro sur de Chile, bajo diferentes condiciones de humedad, siendo así, más representativa de la realidad local.

Tabla 46. Densidad de leña de especie nativa y exótica para 3 condiciones de humedad.

VARIABLE	Leña seca	Leña semi-húm.	Leña húmeda
Densidad hualle	368	426	529
Densidad eucalipto	411	477	592

Fuente: INFOR, 2005

Tal como se argumentara al inicio de este capítulo, otro antecedente que resulta fundamental para que la estimación de emisiones atmosféricas sea representativa de lo que realmente se genera y emite en la comuna de Valdivia, corresponde al nivel de humedad de la leña utilizada en los diferentes tipos de artefactos utilizados. En este sentido, los resultados obtenidos a través de la aplicación de la encuesta señalan valores porcentuales de uso de leña seca, significativamente más altos de lo que muestra la evidencia para zonas con similares. Al respecto, y considerando estas diferencias, el equipo técnico de SICAM INGENIERÍA plantea que:

- Los resultados obtenidos a partir de la declaración de los usuarios, sólo reflejarían una preferencia de la gente respecto del uso y no los niveles de humedad de la leña usada efectivamente en los hogares.
- La selección y aplicación de factores de emisión (F.E.), según condiciones de humedad de la leña es muy sensible. En efecto, un F.E. para leña seca es significativamente menor que uno de leña húmeda, ya que la obtención de este F.E. se realiza mediante ensayos de laboratorio donde la leña empleada normalmente no supera el 20% de humedad.

En esta misma línea, los resultados obtenidos a través de ensayos de laboratorio realizados con leña cuyo porcentaje de humedad supera el 25%, implican la obtención de F.E. para leña húmeda.

Considerado estos planteamientos, el equipo técnico de SICAM INGENIERÍA consideró pertinente utilizar una distribución del contenido de humedad de la leña, distinta a la declarada por los encuestados. En su lugar, se utilizó la distribución del contenido de humedad empleado por el mismo consultor en la actualización del inventario de emisiones para las comunas de Temuco y Padre Las Casas realizado para el año base 2013. De esta manera, permitirá, considerando la estimación para el mismo año base, tener un marco de comparación entre los resultados de ambos estudios. Los niveles de humedad utilizados para la estimación de emisiones son presentados en la siguiente Tabla.

Tabla 47. Distribución del contenido de humedad de la leña utilizada en la comuna de Valdivia.

VARIABLE	Leña seca	Leña semi-húm.	Leña húmeda
Distribución	22%	38%	40%

Fuente: Elaboración propia.

El último, pero no menos importante antecedente a tener en cuenta para el cálculo de las emisiones corresponde a las condiciones que son sometidos los artefactos de combustión residencial de leña, en términos de la manipulación del control de ingreso de aire primario de combustión. La cual según se indicó, condiciona el uso de uno u otro F.E.

En esta oportunidad a través de los resultados de la encuesta, se logró disponer de antecedentes asociados al modo de operación de este tipo de artefactos, según la clasificación de viviendas antiguas y viviendas nuevas, y según la jornada de uso de los mismos, es decir, modo de operación durante el día y modo de operación durante la noche, para cada zona censal. No obstante, y considerando no existen antecedentes suficientes para distribuir el consumo de leña en las diferentes jornadas de uso, día y noche, se consideró pertinente definir un valor promedio de uso de tiraje cerrado para cada distrito censal, segregando únicamente según clasificación de viviendas. Esta condición fue aplicada a los calefactores de combustión lenta, con templador y sin templador, y también a la operación de cocinas a leña, ya que si bien para este último caso la mala operación no se relaciona con la restricción al aire de combustión, si estaría relacionada con la manipulación del dämper que deflecta la trayectoria de los gases de combustión a través del horno de la cocina, ralentizando el proceso de combustión, enfriando la cámara y con consecuencias en el aumento de emisiones contaminantes.

Tabla 48. Operación de artefactos con ingreso de aire primario de combustión cerrado.

Criterio	
Nivel de desagregación	Zona censal
Clasificación de viviendas	A_ Valdivia N_ Valdivia
Artefactos donde se aplicó	Calefactores combustión lenta con templador Calefactores combustión lenta sin templador Cocinas a leña

Fuente: Elaboración propia.

La siguiente Tabla muestra la estimación de emisiones atmosféricas obtenidas para la fuente combustión residencial de leña en la comuna de Valdivia, para los diversos contaminantes considerados en el estudio.

Tabla 49. Emisiones estimadas para la fuente combustión residencial de leña, según tipología de artefactos en uso en la comuna de Valdivia, año 2013.

ARTEFACTO	MP10	MP2,5	CO	NOx	SOx	COVs	HAPs
Combustión Lenta C/T	1.366,3	1.272,1	20.148,6	248,1	2,0	11.017,4	804,9
Combustión Lenta S/T	598,7	557,4	9.373,8	184,3	2,4	3.259,3	274,2
Cocina a Leña	1.179,7	1.098,3	39.598,6	120,6	9,1	34.792,8	72,0
Salamandra	77,8	72,4	1.063,0	10,0	0,5	765,6	4,1
Chimenea y otras	155,6	144,9	2.166,2	8,2	1,3	1.963,6	10,5
<b>TOTAL</b>	<b>3.378,2</b>	<b>3.145,1</b>	<b>72.350,2</b>	<b>571,2</b>	<b>15,2</b>	<b>51.798,7</b>	<b>1.165,8</b>

Fuente: Elaboración propia.

Respecto de esta primera estimación general asociado a la fuente combustión residencial de leña, se rescata la importancia de haber logrado estimar las emisiones para todos los contaminantes considerados en los objetivos del estudio, permitiendo a la Seremi de Medio Ambiente de la región de Los Ríos contar con una línea base respecto de la generación de emisiones de esta fuente.

De los valores presentados, destacan las estimaciones realizadas para MP10 y MP2,5, correspondientes a los contaminantes que afectan de manera más negativa la calidad del aire

en la comuna de Valdivia, y que hoy día concentran la atención de diversas instituciones vinculadas con la materia, principalmente desde el punto de vista ambiental y sanitario, debido a los efectos negativos sobre la población. La Figura siguiente permite observar de manera más gráfica el aporte de los diferentes tipos de artefactos a la estimación de cada contaminante.

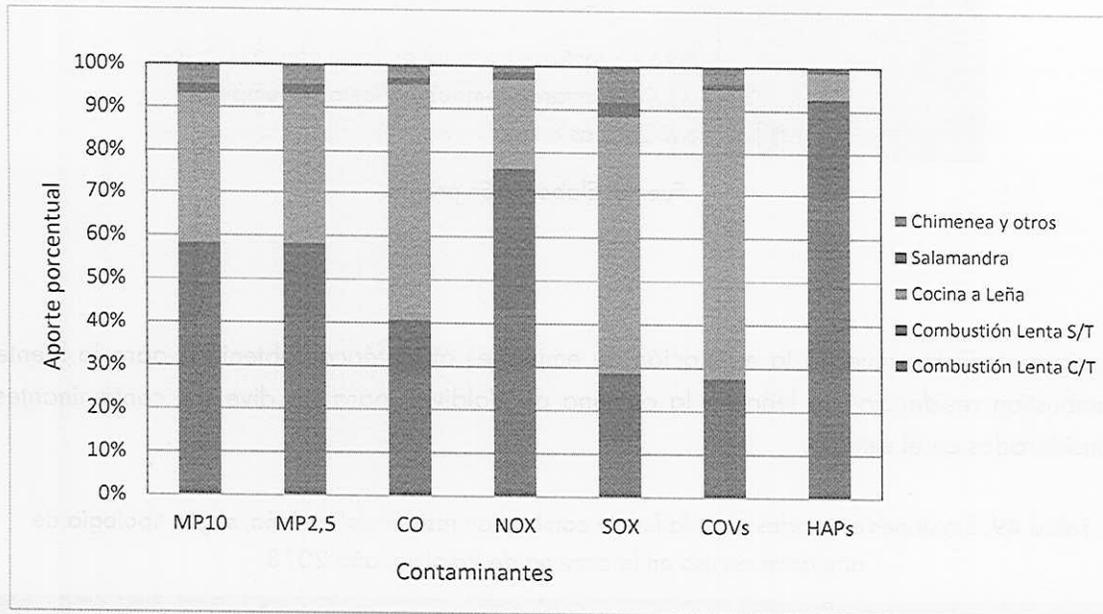


Figura 16. Aporte porcentual de cada tipo de artefacto para los distintos contaminantes.

Luego, en las Tablas 50 y 51 se muestra la estimación de emisiones de MP10 y MP2,5 provenientes de la combustión residencial de leña en la comuna de Valdivia, desagregado a nivel de Zona Censal del área urbana, y considerando su distribución según el tipo de artefacto en la cual son generadas.

Posteriormente, en la Tabla 52 se muestra la estimación de emisiones atmosféricas correspondientes a los contaminantes monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), compuestos orgánicos volátiles (COVs), e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs).

Tabla 50. Emisiones de MP10 por Zona Censal de la comunas de Valdivia, año base 2013 (Ton/año).

Distritos	Zona Censal	Combustión Lenta C/T	Combustión Lenta S/T	Cocina a Leña	Salamandra	Chimenea y otros	TOTAL
Camilo Henríquez	Z1	18,1	66,9	63,3	11,7	-	<b>160,0</b>
Isla Teja	Z1	49,9	21,1	8,3	-	21,7	<b>101,0</b>
Mercedez	Z1	-	-	25,3	-	12,3	<b>37,6</b>
Las Ánimas	Z1	46,9	51,6	81,6	5,3	18,7	<b>204,1</b>
	Z2	20,2	-	23,7	-	-	<b>43,9</b>
	Z3	28,9	-	32,1	-	-	<b>61,0</b>
Estación	Z1	33,4	19,7	48,1	-	6,3	<b>107,4</b>
	Z2	12,4	27,6	43,4	-	3,1	<b>86,5</b>
	Z3	34,0	19,1	34,6	-	-	<b>87,7</b>
	Z4	4,0	17,7	18,8	-	-	<b>40,5</b>
	Z5	-	28,6	46,7	-	-	<b>75,3</b>
Huellehue	Z1	14,0	9,5	11,2	-	-	<b>34,7</b>
	Z2	23,6	-	24,1	3,8	6,0	<b>57,5</b>
	Z3	24,0	14,2	50,6	-	-	<b>88,7</b>
	Z4	54,1	19,1	33,1	6,7	10,4	<b>123,4</b>
	Z5	33,0	-	23,9	-	-	<b>56,9</b>
	Z6	19,3	-	16,8	-	-	<b>36,1</b>
Teniente Merino	Z1	48,0	6,4	28,1	2,9	-	<b>85,5</b>
	Z2	44,1	9,4	44,0	-	-	<b>97,5</b>
	Z3	60,8	28,3	33,0	1,3	2,7	<b>126,2</b>
	Z4	87,6	35,1	41,4	-	2,8	<b>167,2</b>
Las Mulatas	Z1	114,9	9,9	45,1	-	5,6	<b>175,5</b>
	Z2	159,6	10,3	35,1	-	-	<b>204,9</b>
	Z3	148,6	58,9	22,3	2,8	21,2	<b>253,8</b>
	Z4	104,5	50,0	183,3	12,2	3,2	<b>353,2</b>
Pantano	Z1	11,5	22,8	31,4	-	3,9	<b>69,7</b>
	Z2	28,4	30,9	37,7	10,5	20,5	<b>128,1</b>
Aguirre	Z1	26,6	13,2	20,7	-	4,4	<b>65,0</b>
	Z2	30,2	19,2	30,2	16,5	12,9	<b>109,0</b>
	Z3	33,6	9,0	17,9	-	-	<b>60,5</b>
Niebla	Z1	52,1	-	23,7	4,0	-	<b>79,8</b>
<b>TOTAL</b>	-	<b>1.366,3</b>	<b>598,5</b>	<b>1.179,7</b>	<b>77,8</b>	<b>155,6</b>	<b>3.378,2</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 51. Emisiones de MP2,5 por Zona Censal de la comunas de Valdivia, año base 2013 (Ton/año).

Distritos	Zona	Combustión Lenta C/T	Combustión Lenta S/T	Cocina a Leña	Salamandra	Chimenea y otros	TOTAL
Camilo Henríquez	Z1	16,8	62,3	58,9	10,9	-	149,0
Isla Teja	Z1	46,4	19,7	7,7	-	20,2	94,1
Mercedez	Z1	-	-	23,5	-	11,5	35,0
Las Ánimas	Z1	43,7	48,1	76,0	4,9	17,4	190,0
	Z2	18,8	-	22,0	-	-	40,9
	Z3	26,9	-	29,9	-	-	56,8
Estación	Z1	31,1	18,3	44,8	-	5,8	99,9
	Z2	11,5	25,7	40,4	-	2,9	80,5
	Z3	31,6	17,8	32,2	-	-	81,6
	Z4	3,7	16,5	17,5	-	-	37,7
	Z5	-	26,7	43,5	-	-	70,1
Huellehue	Z1	13,0	8,9	10,4	-	-	32,3
	Z2	21,9	-	22,4	3,6	5,6	53,5
	Z3	22,3	13,2	47,1	-	-	82,6
	Z4	50,4	17,8	30,8	6,2	9,7	114,9
	Z5	30,7	-	22,3	-	-	53,0
	Z6	18,0	-	15,7	-	-	33,6
Teniente Merino	Z1	44,7	6,0	26,2	2,7	-	79,6
	Z2	41,1	8,8	41,0	-	-	90,8
	Z3	56,6	26,4	30,7	1,2	2,6	117,5
	Z4	81,6	32,7	38,8	-	2,6	155,7
Las Mulatas	Z1	107,0	9,2	42,0	-	5,2	163,4
	Z2	148,6	9,6	32,7	-	-	190,8
	Z3	138,4	54,8	20,7	2,6	19,8	236,3
	Z4	97,3	46,5	170,7	11,4	3,0	328,8
Pantano	Z1	10,7	21,3	29,2	-	3,6	64,8
	Z2	26,5	28,7	35,1	9,8	19,1	119,2
Aguirre	Z1	24,8	12,3	19,3	-	4,1	60,5
	Z2	28,1	17,9	28,1	15,4	12,0	101,5
	Z3	31,3	8,4	16,6	-	-	56,3
Niebla	Z1	48,5	-	22,1	3,7	-	74,3
<b>TOTAL</b>	-	<b>1.221,1</b>	<b>538,0</b>	<b>1.096,3</b>	<b>65,2</b>	<b>123,4</b>	<b>3.019,3</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52. Emisiones atmosféricas por Zona Censal de la comunas de Valdivia, año base 2013 (Ton/año).

Distritos	Zona Censal	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	COVs	HAPs
Camilo Henríquez	Z1	3.587,1	31,8	0,8	2.495,4	45,4
Isla Teja	Z1	1.649,4	17,6	0,4	1.036,4	41,3
Mercedez	Z1	1.018,1	3,5	0,3	890,0	2,5
Las Ánimas	Z1	4.504,1	33,9	1,0	3.377,3	53,7
	Z2	1.096,7	6,1	0,2	861,5	13,7
	Z3	1.524,7	8,9	0,3	1.164,6	21,0
Estación	Z1	2.542,4	17,8	0,6	1.852,3	34,7
	Z2	2.104,6	15,3	0,5	1.573,7	22,4
	Z3	1.941,9	15,4	0,4	1.407,7	29,8
	Z4	975,7	8,1	0,2	681,8	12,0
	Z5	2.049,2	13,9	0,5	1.515,6	17,5
Huellehue	Z1	808,7	6,9	0,2	477,9	17,8
	Z2	1.294,9	7,5	0,3	1.015,4	16,2
	Z3	2.280,2	13,9	0,5	1.759,3	24,3
	Z4	2.444,7	20,5	0,5	1.715,6	43,9
	Z5	1.314,3	8,7	0,3	959,7	23,1
	Z6	849,1	5,1	0,2	656,3	12,2
Teniente Merino	Z1	1.804,0	14,0	0,3	1.278,6	34,1
	Z2	2.265,2	15,2	0,4	1.716,1	32,2
	Z3	2.520,7	23,5	0,5	1.658,4	51,4
	Z4	3.298,8	31,2	0,6	2.156,5	71,0
Las Mulatas	Z1	3.370,8	28,1	0,5	2.415,2	69,8
	Z2	3.560,7	35,2	0,5	2.401,2	90,2
	Z3	4.154,7	48,9	0,8	2.474,5	117,0
	Z4	8.707,4	54,8	1,9	6.682,3	98,1
Pantano	Z1	1.629,7	12,5	0,4	1.195,7	19,2
	Z2	2.657,4	21,2	0,7	1.857,0	38,5
Aguirre	Z1	1.352,4	11,2	0,3	955,8	23,2
	Z2	2.158,5	17,2	0,6	1.567,1	29,9
	Z3	1.244,6	10,7	0,2	846,0	25,7
Niebla	Z1	1.639,7	12,5	0,3	1.153,7	34,1
<b>TOTAL</b>	-	<b>72.350,2</b>	<b>571,2</b>	<b>15,2</b>	<b>51.798,7</b>	<b>1.165,8</b>

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla siguiente muestra la distribución de las emisiones estimadas para cada contaminante, según la calidad de la leña utilizada y el modo de operación de los artefactos. Al respecto es importante resaltar, que para todos los contaminantes estimados, la mayor fracción de ellos se genera al utilizar u operar de manera incorrecta los equipos de combustión.

Tabla 53. Emisiones atmosféricas según calidad de leña utilizada y modo de operación de los artefactos presentes en la comunas de Valdivia, año base 2013 (Ton/año).

Contaminante	Leña Seca Tiraje medio-abierto	Leña Húmeda Tiraje medio-abierto	Leña Seca-húmeda Tiraje cerrado	TOTAL
MP10	77,3	628,5	2.672,5	3.378,2
MP2,5	71,9	585,1	2.488,1	3.145,1
CO	2.243,7	14.762,6	55.344,0	72.350,2
NOX	23,7	93,8	453,7	571,2
SOX	1,5	4,3	9,4	15,2
COVs	767,9	9.060,2	41.970,7	51.798,7
HAPs	8,9	339,9	817,0	1.165,8

Fuente: Elaboración propia.

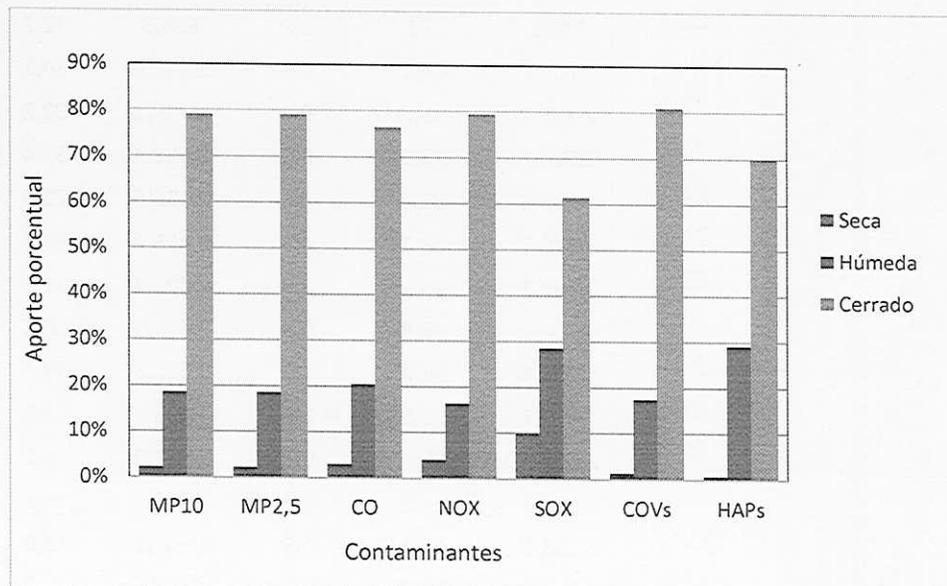


Figura 17. Aporte porcentual de humedad de leña y modo de operación a emisiones estimadas.

#### 6.4 PROYECCIÓN DE EMISIONES

Con la finalidad de darle una perspectiva en el tiempo, se desarrollaron proyecciones de las emisiones a partir del inventario año base 2013, y considerando un horizonte de 10 años y 15 años a partir de la entrada en vigencia del Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) que actualmente se encuentra elaborando la Seremi de Medio Ambiente de la región de Los Ríos, y del cual se espera la implementación de una serie de medidas que permita disminuir los actuales niveles de emisiones a la atmosfera.

Las principales consideraciones para la proyección fueron el crecimiento en el número de viviendas tipo casa, y el crecimiento del stock de artefactos de combustión residencial asociado a ello.

En conjunto con la contraparte técnica del estudio, se definió el año 2016 como plazo de entrada en vigencia del PDA de Valdivia. De esta manera, se consideró prudente definir como años de proyección, los correspondientes al 2025 y 2030. Luego, a partir de esta definición, los cálculos realizados para estimar las emisiones generadas por la combustión residencial de leña contemplaron dos escenarios, a saber:

Escenario base proyectado, sin PDA: considera que las tendencias en el uso de leña varían en función del aumento del parque de viviendas tipo casa, y que la leña mantiene el actual nivel de humedad asignado al caso base (22 % seca; 38% semi-húmeda; 40% húmeda). Por otro lado, la variación del stock de artefactos varía únicamente en función del recambio natural (4% anual), y en función de la recientemente estrenada norma e calefactores.

Escenario regulado, con PDA: al igual que para el escenario base, considera que las tendencias en el uso de leña varían en función del crecimiento del parque de viviendas tipo casa. No obstante lo anterior, este escenario analiza e incorpora algunas variantes en función de los antecedentes proporcionados por la contraparte técnica, relacionados con las principales medidas que contendrá el PDA de Valdivia. Estas medidas dicen relación con 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 de combustión residenciales que combustionan leña; - Regulación referida al mejoramiento de la eficiencia térmica de la vivienda.

A modo de síntesis, a continuación se presentan los criterios para cada uno de los lineamientos señalados en el párrafo anterior.

##### 1. Regulación al uso y mejoramiento de la calidad de la leña como combustible:

- Se consideró el escenario planteado en el inventario de Temuco y Padre Las Casas, desarrollado por este mismo consultor, y construido a partir de la experiencia que ha

dejado el PDA para MP10 implementado en dichas comunas el año 2010. Este considera que para el año 2025 la leña que se utilice corresponderá a 55% de la leña, 27% leña semi-húmeda y 18% leña húmeda. Mientras que para el escenario 2030, la leña que se utilice corresponderá a 75% leña seca, 20% semi-húmeda y 5% leña húmeda.

## 2. Regular el uso y mejoramiento de la calidad de los artefactos residenciales que combustionan leña:

- Se consideró la proyección de los programas de recambio de calefactores que actualmente ejecuta el Ministerio del Medio Ambiente, a través de las oficinas regionales. Se evaluaron los escenarios de proyección considerando el recambio de 12.000 artefactos de combustión residencial de leña, de los cuales 9.000 corresponderían a calefactores a leña certificados, y otros 3.000 a tecnologías diferentes a la leña.
- Se considera que a partir del tercer año de entrada en vigencia del PDA se prohíbe el uso de artefactos que no se encuentren certificados, acelerándose el recambio particular de la mayor parte de este tipo de artefactos por calefactores certificados.
- Además de lo anterior, se considerara que la población avanza en realizar una mejor operación de sus artefactos, disminuyendo a un 35% los usuarios que cierran completamente el control de ingreso de aire primario de combustión.

## 3. Mejoramiento de la eficiencia térmica de viviendas:

- A través de esta medida se busca disminuir la demanda energética, para efectos de calefacción, de las viviendas ubicadas en el área de intervención del PDA. Se consideró la proyección del programa de aislamiento térmico que actualmente ejecuta el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, a través de las oficinas regionales. Se evaluaron los escenarios de proyección considerando la ejecución, en un plazo de 10 años, de 20.000 subsidios de aislación térmica. Al respecto, se consideró pertinente utilizar el porcentaje de reducción en el consumo de leña determinado para las viviendas de las comunas de Temuco y Padre Las Casas que a la fecha han recibido y ejecutado el subsidio de aislación térmica, correspondiente a una disminución aproximada de 15%.

### **Estimación de Emisiones escenario base proyectado, sin PDA, año 2025 y 2030:**

En la Tabla 54 y Tabla 55 se presenta la estimación de emisiones totales generadas por la combustión residencial de leña en la comuna de Valdivia, para los años 2025 y 2030, respectivamente.

Tabla 54. Proyección de emisiones del caso base, año 2025, según tipo de artefacto.

RTEFACTO	MP10	MP2,5	CO	NOx	SOx	COVs	HAPs
Cocina a Leña	1.404,5	1.307,6	47.211,8	144,4	10,9	41.327,6	86,1
Salamandra	34,5	32,1	480,5	4,8	0,2	338,9	1,9
Combustión Lenta S/T	460,1	428,3	7.211,4	141,7	1,8	2.500,8	208,9
Combustión Lenta C/T	1.010,7	940,9	15.141,5	184,9	1,6	8.115,8	607,6
Chimenea y otras	147,7	137,5	2.050,9	8,1	1,2	1.859,1	10,2
Calefactor pellet	-	-	-	-	-	-	-
Calefactor certificado	556,1	517,7	12.248,0	219,5	1,9	9.634,8	-
Nva. Tecnología	-	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>3.613,6</b>	<b>3.364,3</b>	<b>84.344,0</b>	<b>703,4</b>	<b>17,7</b>	<b>63.777,0</b>	<b>914,7</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55. Proyección de emisiones del caso base, año 2030, según tipo de artefacto.

RTEFACTO	MP10	MP2,5	CO	NOx	SOx	COVs	HAPs
Cocina a Leña	1.315,7	1.225,0	44.227,2	135,3	10,2	38.715,0	80,7
Salamandra	138,5	128,9	1.928,5	19,4	0,9	1.360,1	7,6
Combustión Lenta S/T	555,4	517,1	8.705,1	171,1	2,2	3.018,7	252,2
Combustión Lenta C/T	1.819,4	1.693,9	27.257,4	332,8	2,9	14.610,0	1.093,7
Chimenea y otras	120,5	112,1	1.672,3	6,6	1,0	1.515,9	8,3
Calefactor pellet	-	-	-	-	-	-	-
Calefactor certificado	422,0	392,8	9.294,2	166,5	1,4	7.311,2	-
Nva. Tecnología	-	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>4.371,5</b>	<b>4.069,8</b>	<b>93.084,6</b>	<b>831,7</b>	<b>18,7</b>	<b>66.531,0</b>	<b>1.442,5</b>

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se muestra una comparación entre las emisiones del año base 2013 y el mismo escenario proyectado al 2030. A través de ellas es posible observar la variación que tienen las emisiones a lo largo de los años, lo cual es un reflejo de la variación en el uso de leña como combustible de uso residencial.

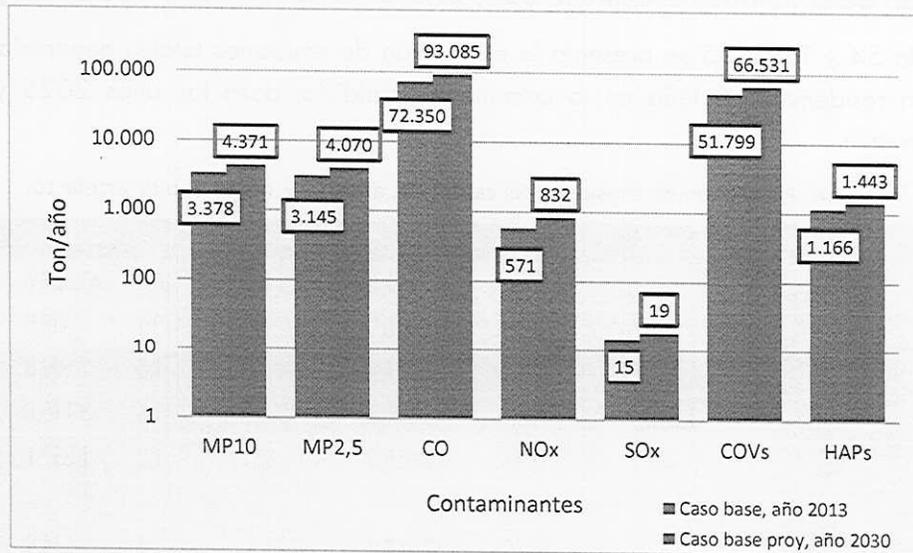


Figura 18. Comparación de emisiones generadas por combustión residencial de leña en la comuna de Valdivia, para caso base de los años 2013 y 2030.

**Estimación de Emisiones escenario regulado proyectado, con PDA, año 2025 y 2030:**

En la Tabla 56 y Tabla 57 se presenta la estimación de emisiones totales generadas por la combustión residencial de leña en la comuna de Valdivia, para los años 2025 y 2030, respectivamente, bajo un escenario de implementación de medidas.

Tabla 56. Proyección de emisiones del escenario regulado, año 2025, según tipo de artefacto.

RTEFACTO	MP10	MP2,5	CO	NOx	SOx	COVs	HAPs
Cocina a Leña	663,4	617,6	22.691,9	51,3	6,9	18.282,7	50,3
Salamandra	10,9	10,1	174,6	2,6	0,1	127,0	0,8
Combustión Lenta S/T	62,9	58,6	1.156,3	4,3	0,3	342,7	30,0
Combustión Lenta C/T	269,5	250,9	4.427,2	20,2	0,8	2.083,1	164,5
Chimenea y otras	16,1	15,0	219,3	1,1	0,2	198,8	1,6
Calefactor pellet	-	-	-	-	-	-	-
Calefactor certificado	504,2	469,4	11.683,9	74,1	2,9	7.654,9	604,7
Nva. Tecnología	-	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>1.527,0</b>	<b>1.421,6</b>	<b>40.353,2</b>	<b>153,6</b>	<b>11,1</b>	<b>28.689,2</b>	<b>851,9</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57. Proyección de emisiones del escenario regulado, año 2030, según tipo de artefacto.

RTEFACTO	MP10	MP2,5	CO	NOx	SOx	COVs	HAPs
Cocina a Leña	472,8	440,2	16.461,3	37,6	5,2	12.738,2	36,3
Salamandra	6,5	6,0	120,5	2,2	0,1	66,1	0,7
Combustión Lenta S/T	42,7	39,7	759,4	2,9	0,2	225,7	17,0
Combustión Lenta C/T	171,9	160,1	2.821,1	13,8	0,6	1.306,5	89,5
Chimenea y otras	11,9	11,1	157,7	1,0	0,2	142,9	1,5
Calefactor pellet	-	-	-	-	-	-	-
Calefactor certificado	446,3	415,5	10.767,3	77,1	3,5	7.282,6	498,8
Nva. Tecnología	-	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>1.152,1</b>	<b>1.072,6</b>	<b>31.087,2</b>	<b>134,7</b>	<b>9,8</b>	<b>21.762,0</b>	<b>643,8</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura se muestra una comparación entre las emisiones del año base 2013 y el escenario regulado con PDA proyectado al 2030. A través de ellas es posible observar que para el contaminante MP10 y MP2,5 las emisiones del escenario regulado con PDA logran una disminución cercana al 50% respecto del escenario base, al incorporar algunas de las principales medidas previstas para el PDA de la comuna de Valdivia.

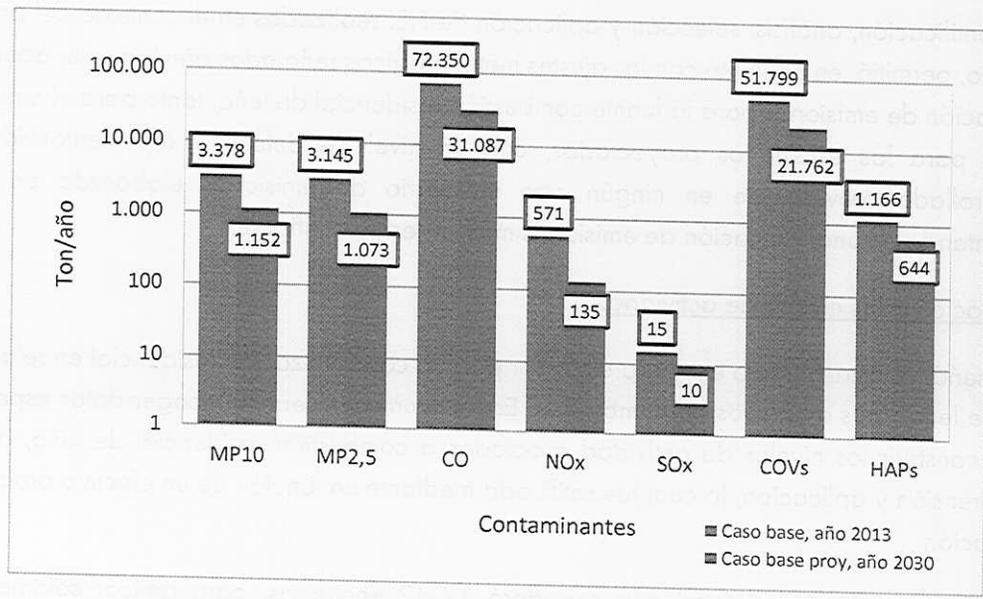


Figura 19. Comparación de emisiones generadas por combustión residencial de leña en la comuna de Valdivia, para caso base del año 2013 y escenario proyectado con PDA al año 2030.

## 7 CONCLUSIONES

### En relación al análisis metodológico:

Los resultados de análisis asociados a la recopilación y revisión de los principales inventarios realizados a la fecha en diferentes ciudades de Chile para la fuente combustión residencial de leña, dan cuenta de una amplia incertidumbre asociada a la estimación de emisiones, por cuanto se observa una gran variación entre ellos, incluso en estudios realizados para la misma ciudad, variaciones que no responden a ninguna tendencia vinculada con la cantidad de leña utilizada, o tecnología de los artefactos empleados, sino más bien a las consideraciones metodológicas empleadas en cada uno de ellos.

En relación a las metodologías de cálculo aplicadas en otros inventarios desarrollados a nivel nacional, se identificaron aspectos relevantes que inciden en la determinación de emisiones y que previamente no han sido considerados, arrastrándose errores sistemáticos en el cálculo de las emisiones, que han incrementado la incertidumbre de los resultados. Entre ellos destacan: la aplicación de diferentes densidades de leña para la conversión de m<sup>3</sup> de leña a toneladas de leña; la selección y uso de F.E. poco representativos de la situación real del contexto nacional; la aplicación de procedimientos de cálculo en el uso de los F.E. que no responden o no se ajustan con el principio a través del cual estos F.E. fueron determinados.

La identificación, análisis, selección y aplicación de F.E. realizados en el contexto del presente estudio, permitió, en conjunto con los ajustes metodológicos señalados previamente, abordar la estimación de emisiones para la fuente combustión residencial de leña, tanto para el caso base como para los escenarios proyectados, con un nivel de detalle y representatividad no desarrollado previamente en ningún otro inventario de emisiones elaborado en Chile, decantando en una estimación de emisiones más certera y confiable.

### En relación a los niveles de actividad:

Se diseñó un instrumento o encuesta estándar para la caracterización residencial en relación al uso de leña y sus artefactos de combustión. Este instrumento permite recoger datos específicos para construir los niveles de actividad asociados a combustión residencial de leña, de fácil comprensión y aplicación, lo cual fue ratificado mediante un función de un efectivo proceso de aplicación.

Se definió un diseño muestral que consideró 1.042 encuestas, para aplicar solamente en viviendas tipo casa. Considerando que para el marco muestral no se pudo contar con información del Censo 2012, se consideró pertinente desagregar el marco muestral según clasificación de viviendas antiguas (registradas en el Censo 2002), y viviendas nuevas

(construidas hasta el año 2013, que no se encontraban registradas en el Censo 2002). Los resultados obtenidos respaldaron la iniciativa, ya que a través de los resultados se observaron antecedentes diferenciadores entre ambas clasificaciones de viviendas.

El consumo promedio de leña en viviendas que declaran consumir este combustible alcanza 10,1 m<sup>3</sup>/año, con un promedio de 10,8 m<sup>3</sup>/año en viviendas antiguas, y de 8,2 m<sup>3</sup>/año en viviendas nuevas.

La proporción de viviendas que consume leña en el área urbana de la comuna de Valdivia alcanza el 91,9%, no existiendo diferencias significativas entre viviendas antiguas (92,8%) y viviendas nuevas (89,7%).

La distribución del tipo de artefactos es liderada, en términos globales, por calefactores de combustión lenta con templador (48,6%), seguida de cocinas a leña (32,1%), luego calefactores de combustión lenta sin templador (13,3%), y finalmente chimeneas (4,1%) y salamandras (1,8%). En viviendas antiguas, la distribución es bastante similar, 41,2% de calefactores de combustión lenta con templador, seguido de un 38,4% en cocinas a leña y un 13,7% de calefactores de combustión lenta sin templador, mientras que en viviendas nuevas predomina ampliamente el uso de calefactores de combustión lenta con templador (73,1%), seguido de un 12,0% de calefactores de combustión lenta sin templador, un 11,2% en cocinas a leña.

Uno de los resultados más importantes de la encuesta y que tuvieron mayor trascendencia en la estimación de emisiones corresponde al modo de uso de los artefactos, en términos de la regulación del ingreso de aire de combustión. En efecto, el 62% de los encuestados declaró utilizar la práctica de cerrar completamente el control de ingreso de aire de combustión de sus artefactos. Esta práctica se incrementa en la jornada de la noche, donde alcanza un 86,6%.

La estimación proyectada del consumo total de leña en el área urbana de la comuna de Valdivia alcanza los 391,613 m<sup>3</sup> estéreos al año. Los distritos censales que presentan los consumos más altos corresponden a: distrito Las Mulatas (109.903 m<sup>3</sup>/año), distrito Teniente Merino (55.733,5 m<sup>3</sup>/año), distrito Huelleshue (49.199 m<sup>3</sup>/año) y distrito Estación (45.134 m<sup>3</sup>/año).

En relación a la estimación de emisiones:

La estimación de emisiones de MP10 y MP2,5 proveniente de la combustión residencial de leña en el área urbana de la comuna de Valdivia corresponden a 3.378,2 Ton/año y 3.145,1 Ton/año, respectivamente. La distribución porcentual de los distritos censales que presentan las mayores emisiones corresponden a: distrito Las Mulatas (29,2%), distrito Teniente Merino (14,1%), distritos Huelleshue (11,8%) y Estación (11,8%).

Las emisiones de MP10 y MP2,5 estimadas para la combustión residencial de leña en comuna de Valdivia están fuertemente influenciadas por la calidad de la leña utilizada y el modo de operación de los artefactos. En efecto, el 78% de estas emisiones son generadas a partir de una mala operación de los artefactos de combustión, mientras que el 18,6% es producto del uso de leña húmeda y tan solo un 2,3% se origina por la combustión adecuada de leña seca.

En relación a la proyección de emisiones:

La proyección de las emisiones estimadas para el año base 2013, a través de un escenario que mantiene la misma dinámica en torno al uso de leña para el año 2030, significa un aumento en las emisiones de MP10 y MP2,5 de aproximadamente un 30%.

La proyección de las emisiones estimadas para el año base 2013, a través de un escenario regulado con PDA al año 2030, implican una disminución en las emisiones de MP10 y MP2,5 de aproximadamente un 50% de las emisiones respecto del caso base, al incorporar algunas de las principales medidas previstas para el PDA de la comuna de Valdivia.

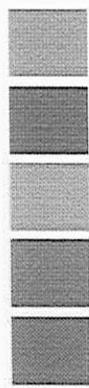
El consumo de leña para el escenario base proyectado a los años 2025 y 2030, corresponden a 372.704 m<sup>3</sup>/año y 348.268 m<sup>3</sup>/año, respectivamente, aumentando un 32% y un 52% respecto del año base 2013 (391.613 m<sup>3</sup>/año).

El consumo de leña para el escenario base proyectado con regulación a los años 2025 y 2030, corresponden a 518.282 m<sup>3</sup>/año y 592.938 m<sup>3</sup>/año, respectivamente, disminuyendo un 5% y un 11% respecto del año base 2013 (391.613 m<sup>3</sup>/año).

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Air Pollutant Emission Inventory Manual. The Global Atmospheric Pollution Forum. Version 5.0, 2012.
- [2] Análisis del Potencial Estratégico de la Leña en la Matriz Energética Chilena. CNE, 2008.
- [3] INFOR, 2005. Estudio del mercado de la leña en la ciudad de Chillán. Informe Final.
- [4] VERENUM (Nussbaumer), 2006. Resultado de ensayos en calefactores a leña y recomendaciones para establecer límites de emisión en Chile. Reporte para CONAMA y COSUDE.
- [5] EIIP, Volume III, Chapter 2: Residential Wood Combustion, 2001.
- [6] DICTUC, 2008. Estudio diagnóstico plan de gestión de calidad del aire VI región. Informe final.
- [7] AMBIOSIS, 2009. Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos y Definición de Área de Influencia de las Emisiones que Causan el Efecto de Saturación por PM10 en la Ciudad de TALCA. Informe final.
- [8] UCT, 2009. Inventario de emisiones de Chillán. Informe final.
- [9] CENMA, 2010. Actualización del inventario de Temuco y Padre Las Casas. Informe final.
- [10] ENVIROMODELING, 2009. Análisis de emisiones atmosféricas en Coyhaique. Informe final.
- [11] CENMA, 2002. Inventario de emisiones de Temuco y Padre Las Casas, año base 2000. Informe Final
- [12] DICTUC, 2008. Actualización del inventario de emisiones de Temuco y Padre Las Casas, año base 2005. Informe final.
- [13] REPORT ON REVISIONS TO, 5TH EDITION AP-42, Section 1.10, Residential Wood Stoves.
- [14] Proyecto FONDEF "Investigación y Generación de Factores de Emisión de Contaminantes Atmosféricos para Artefactos Residenciales que Combustionan Biomasa de Relevancia Nacional". Universidad Católica de Temuco, 2014.
- [15] Mediciones de emisiones de MP generadas por artefactos de combustión residencial de leña provenientes del programa de recambio de la ciudad de Coyhaique. Laboratorio emisiones Universidad Católica de Temuco, 2011.
- [16] Mediciones realizadas en el marco del programa de mejoramiento tecnológico de artefactos, desarrollado en convenio por CONAMA y Universidad Católica de Temuco, 2012.

- [17] Medición de material particulado, monóxido de carbono y eficiencia térmica para diferentes estufas del mercado nacional. Universidad de Concepción, 2012.
- [18] Medición de artefactos de uso residencial que operan con biomasa para apoyar procesos regulatorios ambientales. Reporte para CONAMA. SERPRAM, 2006.
- [19] Chow, J.C.; Watson, J.G., 1998. Guideline on speciated particulate monitoring. prepared by Desert Research Institute, Reno, NV, for U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC;



# ANEXO I

Metodologías utilizadas para  
estimar emisiones provenientes de  
la Combustión Residencial de  
Leña.



## 1 METODOLOGÍAS UTILIZADAS PARA ESTIMAR EMISIONES PROVENIENTES DE LA COMBUSTIÓN RESIDENCIAL DE LEÑA

Se requiere estimar las emisiones de MP10, MP2,5, CO, NOX, SO2 y COVs, que son generadas por artefactos domiciliarios que combustionan leña para efectos de calefacción y cocción de alimentos. Al respecto, existen a nivel internacional, nacional y regional, variadas metodologías de cálculo que permiten estimar dichas emisiones, no obstante existe consenso en que todas ellas convergen al uso de variables comunes, que resultan ser trascendentales en los resultados de estimación. A continuación, se realiza una revisión del estado del arte de las metodologías mayormente utilizadas a nivel internacional, con un análisis particular de aquellas utilizadas en Chile, especialmente en los inventarios realizados previamente.

### 1.1 EMISSION INVENTORY IMPROVEMENT PROGRAM (EIIP), EE.UU.

El EIIP, por sus siglas en inglés, corresponde al Programa de Mejora de Inventarios de Emisión de Estados Unidos, administrado por la Agencia de Protección Ambiental de este país, EPA, o USEPA. A nivel internacional, la USEPA se constituye como la mayor y más detallada fuente información, y ha sido utilizada como fuente de consulta para el desarrollo de inventarios de emisión en países de la Unión Europea, Australia, México, y Chile. Sin ir más lejos, el "Manual de Inventario de Contaminantes Atmosféricos" desarrollado recientemente en el marco del Foro Global de Contaminación Atmosférica<sup>1</sup>, contó con el patrocinio de la USEPA para definir las metodologías más adecuadas a incorporar, cuya utilidad alcanza principalmente a países en vías de desarrollo.

Las metodologías consideradas por el EIIP para la estimación de emisiones provenientes de la combustión residencial de leña se clasifican en<sup>2</sup>:

- I. Metodología preferida: basada en una encuesta residencial
- II. Metodología alternativa: basada en datos censales y de energía.

La aplicación del método alternativo solo se recomienda utilizar cuando se realiza un inventario donde la quema de leña es mínima o insignificante, y la información mínima a obtener a través de los datos censales son:

- Distribución de la población rural / urbana en el área de inventario o datos del censo con estadísticas de la cantidad de hogares que utilizan leña para calefacción.
- Cantidad de leña utilizada y tipo de artefactos de combustión, si es posible.

<sup>1</sup> Air Pollutant Emission Inventory Manual, The Global Atmospheric Pollution Forum, Versión 5.0, 2012.

<sup>2</sup> EIIP, Volume III, Chapter 2: Residential Wood Combustion, 2001.

La consideración, análisis y evaluación de las regulaciones legales aplicables entrega una referencia de los ajustes que se deben hacer durante la etapa de planificación del inventario, y en particular del diseño de la encuesta, la cual debe recoger la información sobre nuevas tecnologías de calefacción a biomasa.

La eficiencia de las medidas de control, se refleja en factores de emisión más bajos asociados a las nuevas tecnologías de artefactos de combustión de leña. No obstante, se debe tener cuidado en las estimaciones posteriores, ya que en la práctica, estas mejoras tecnológicas solo podrán reflejar un impacto en la reducción de emisiones pasado un par de años, siempre y cuando se realice una correcta operación y mantención de las mismas<sup>3</sup>.

Factores críticos del método: Asignación espacial

De acuerdo al nivel de detalle del inventario, o particularmente de la fuente combustión residencial de leña, puede ser necesaria la distribución espacial de las emisiones. Esto cobra relevancia en las emisiones asociadas a la fuente combustión residencial de leña, debido al significativo número de fuentes en el área de estudio

Factores críticos del método: Resolución temporal:

Prorrateso por condición meteorológica

La combustión de leña para uso residencial es fuertemente dependiente de las condiciones de temperatura ambiente. El EIIP señala que la encuesta debe intentar recopilar información acerca de la leña quemada durante los meses que aborda el inventario. Una alternativa a la aplicación d encuesta, corresponde la determinación del consumo de leña mediante identificación de los grado-día de calefacción. Un grado-día de calefacción es una es el número de grados por debajo de 65 °F que un área experimenta durante un día de 24 horas.

1.2 CALIFORNIA AIR RESOURCE BOARD (CARB), EE.UU.

La CARB, por sus siglas en inglés, corresponde a la Junta de Recursos del Aire del Estado de California, en Estados Unidos, administrado por la Agencia de Protección Ambiental del Estado de California. Entre sus objetivos están, alcanzar y mantener buenas condiciones de calidad del aire, proteger a la población de la exposición a contaminantes tóxicos, y proporcionar enfoques innovadores para el cumplimiento de las normas y reglamentos asociados a contaminación del aire. Dentro de Estados Unidos, el Estado de California es el único autorizado a tener un organismo de regulación autónomo, ya que los demás solo están autorizados a seguir las regulaciones establecidas por la CARB, o a seguir las regulaciones federales de la EPA, pero no a establecer organismos propios.

En materia de inventarios de emisión, la CARB tiene larga trayectoria, y dispone de metodologías y factores de emisión ampliamente utilizados a nivel internacional. En relación a la fuente combustión residencial de leña, establece

<sup>3</sup> EIIP, Volume III, Chapter 2: Residential Wood Combustion, 2001.

- Información sobre regulaciones estatales y locales; y
- Grados-día de calefacción para el área de inventario.

A continuación, se presenta una descripción de los alcances asociados a la metodología preferida por el EIIP.

Factores críticos del método: Información requerida

Respecto a la aplicación de la metodología correspondiente al método preferido, se debe tener presente que es necesario contar con un mayor grado de información, o mayor grado de detalle de la misma, lo cual contribuirá a disminuir la incertidumbre de la estimación de las emisiones. Por esta razón, la información que se recabe a través de la aplicación de encuesta y otros mecanismos que se utilicen en el marco de esta metodología, debe permitir asegurar la disponibilidad de la siguiente información:

- Consumo total de leña en el área de estudio (Toneladas/año),
- Distribución del tipo de artefactos de combustión de leña, disponibles en el área de estudio.
- Información demográfica que permita expandir los resultados de la encuesta (cualquiera o una combinación de los siguientes):
  - Distribución de la población rural / urbana en el área de inventario.
  - Uso de suelo
  - Caracterización del Nivel Socioeconómico de la población.
  - Antigüedad de las viviendas
- Información sobre regulaciones estatales y locales; y
- Grados-día de calefacción para el área de inventario.
- información referente a los perfiles de uso de la leña, y la variabilidad estacional.

Factores críticos del método: Regulaciones

La estimación de emisiones requiere un análisis de todas las variables que afectan la generación de emisiones, y una muy importante corresponde a los controles o regulaciones establecidas por la autoridad, tales como las utilizadas por la USEPA, que se indican a continuación:

- Uso de nuevas tecnologías de combustión residencial de leña.
- Mejoras en el rendimiento del proceso de la combustión de leña.
- Establecimiento de periodos de restricción al uso de leña.
- Establecimiento de programas de sensibilización y educación ambiental
- Sustitución o recambio de tecnologías de combustión de leña, por otras más eficientes y menos contaminantes.
- Prohibición total de la quema residencial de leña.

una metodología diferenciada para determinar los niveles de actividad asociados a la fuente, considerando 2 clasificaciones de artefactos, a saber, calefactores tradicionales y chimeneas. La metodología se destaca por los siguientes aspectos:

- Para calefactores tradicionales, se determina el nivel de actividad o consumo promedio de leña, mediante la demanda de energía de las viviendas. Para chimeneas se determina consumo de leña mediante caracterización del perfil de funcionamiento a través de encuesta.
- Luego, el número de viviendas que utilizan leña se determina a través de datos obtenidos a partir del Censo de Estados Unidos.
- Los factores de emisión son tomados del AP42 de la EPA.

Respecto al primer punto, referente al consumo promedio de leña (tasa de consumo anual) son estimados a través de la determinación de los grados-día de calefacción. Un grado-día de calefacción es el número de grados por debajo de 65 °F que un área experimenta durante un día de 24 horas. Por ejemplo, si un condado tiene una temperatura promedio de 40 °F, entonces el grado-día promedio es de 25.

El grado-día de calefacción no es una metodología utilizada para artefactos tipo chimenea, porque en general son considerados sistemas residenciales no eficientes, y su uso no puede ser correlacionado con precisión en función de la temperatura ambiente. En su lugar, se aplican los resultados de encuestas residenciales que caracterizan el perfil de funcionamiento de este tipo de artefactos de una manera más representativa.

El total anual promedio "grado-día calefacción" se sustituye en la ecuación abajo indicada, para estimar la demanda de energía promedio en cada condado.

$$E = \frac{C_D(16,88 \times q_L \times DD)}{(k \times V \times (t_{outside} - t_{inside}))}$$

Ecuación  
1

Luego, substituyendo:

$$UA \frac{q_L}{(t_{outside} - t_{inside})}$$

Ecuación  
2

Tenemos que:

$$E = \frac{C_D(16,88 \times UA \times DD)}{(k \times V)}$$

Ecuación  
3

1428



1428

Finalmente, los factores de emisión para artefactos de combustión residencial de leña, incluyendo chimeneas, son tomados del AP-42 de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA).

Para determinar los factores de emisión de los artefactos de combustión residencial de leña, se utilizó el método de los factores de emisión de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA) para los artefactos de combustión residencial de leña. Este método se basa en el análisis de los datos de los estudios de campo realizados en los Estados Unidos. Los factores de emisión se expresan en unidades de masa por unidad de energía consumida.

Los factores de emisión se expresan en unidades de masa por unidad de energía consumida. El método de los factores de emisión de la EPA para los artefactos de combustión residencial de leña se basa en el análisis de los datos de los estudios de campo realizados en los Estados Unidos. Los factores de emisión se expresan en unidades de masa por unidad de energía consumida.

El grado de la combustión no es una metodología utilizada para artefactos tipo chimenea porque en general son considerados sistemas residenciales no estancados y en este caso se debe ser considerado con precisión en función de la temperatura ambiente. En su lugar, se utilizan los factores de emisión de referencia que caracterizan el perfil de funcionamiento de este tipo de artefactos de leña.

El tipo de combustible que se utiliza en la combustión de leña influye en la ecuación de los factores de emisión de los artefactos de combustión residencial de leña.

Ecuación

$$E = \frac{C \times H \times 10^6}{(10000 - 10000 \times \frac{C}{100})}$$

Ecuación

$$E = \frac{C \times H \times 10^6}{(10000 - 10000 \times \frac{C}{100})}$$

Ecuación

$$E = \frac{C \times H \times 10^6}{(10000 - 10000 \times \frac{C}{100})}$$

3-841

1429

# ANEXO I

Recopilación y selección de Factores de Emisión para su aplicación representativa en inventario de emisión para la fuente Combustión Residencial de Leña.



Temuco, Noviembre de 2014

Estudio desarrollado para  
MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE  
SEREMI REGIÓN DE LA ARAUCANÍA  
SEREMI REGIÓN DE LOS RÍOS

Desarrollado por:

SICAM INGENIERÍA LTDA.

**Anexo Técnico preparado por:**

Sergio Dávila Riquelme    Ing. Ambiental,  
Profesional SICAM INGENIERÍA  
Responsable estimación emisiones Combustión residencial de leña  
Licitación Pública ID: 612227-4-LE14 y 613925-25-LE14

**Contraparte Técnica**

SEREMI Medio Ambiente, Región de La Araucanía.  
SEREMI Medio Ambiente, Región de Los Ríos.

Temuco, Noviembre de 2014

# 1 ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES REALIZADA PARA LA FUENTE COMBUSTIÓN RESIDENCIAL DE LEÑA EN CHILE

Los inventarios de emisiones realizados en Chile, que consideran la estimación de emisiones para la fuente combustión residencial de leña, son aquellos desarrollados principalmente en la zona centro sur del país, justamente donde se concentran los principales centros de consumo de este combustible.

## 1.1 ANÁLISIS DE INVENTARIOS DE EMISIÓN DESARROLLADOS EN CIUDADES DEL SUR DE CHILE, PARA LA FUENTE COMBUSTIÓN RESIDENCIAL DE LEÑA.

A continuación se presenta un análisis de los principales antecedentes y resultados presentados en los últimos inventarios realizados en Chile, particularmente los inventarios desarrollados, según el año base indicado, para la Región Metropolitana (RM, 2012) [1], Rancagua (2006) [2], Talca (2006) [3], Concepción Metropolitano (CM, 2005) [4], Temuco y Padre Las Casas (TPLC, 2009) [5], y Coyhaique (2008) [6], antes del año 2014. Esto, a objeto de establecer un patrón que permita relacionar los resultados obtenidos con las variables empleadas en su determinación. La metodología empleada en estos inventarios se basó en el método del factor de emisión, en adelante FE, que estima emisiones a través de la multiplicación de un FE representativo de la tecnología de combustión utilizada, por el nivel de consumo de leña vinculado a estas, de acuerdo a la siguiente expresión general:

$$E = FE \times NA$$

Ecuación 1

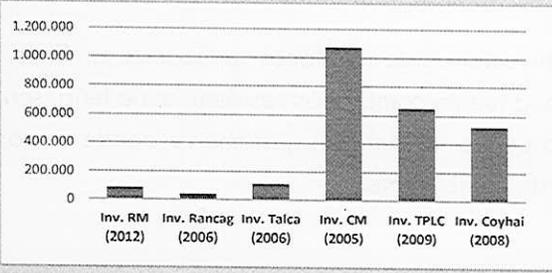
Dónde:

- E : Emisiones del contaminante en estudio (Ton/año).
- FE : Factor de emisión del contaminante en estudio, en función del nivel de actividad que caracteriza a la fuente (Ton/kg leña).
- NA : Nivel de actividad. Corresponde al consumo promedio de leña (Kg/año).

Luego, para el desarrollo de los inventarios mencionados, y con objeto de obtener información representativa y útil para el uso de factores de emisión, los responsables de su ejecución realizaron encuestas públicas a la ciudadanía, resguardando criterios de representatividad y nivel de confianza estadísticamente válidos. Parte de los resultados obtenidos en dichos inventarios se presentan en las Tablas siguientes.

Tabla 1. Estimaciones de consumo de leña (m<sup>3</sup> estéreos) presentados en los inventarios desarrollados previamente en ciudades del sur de Chile.

Referencia	Consumo de leña (m <sup>3</sup> )
Inv. RM, 2012	85.442
Inv. Rancagua, 2006	39.334
Inv. Talca, 2006	118.262
Inv. CM, 2005	1.075.410
Inv. Temuco y PLC, 2009	653.990
Inv. Coyhaique, 2008	521.887



Fuente: Elaboración propia.

La Tabla siguiente muestra el consumo de leña distribuido según el tipo de artefactos donde es combustionado.

Tabla 2. Estimaciones de consumo de leña (Ton/año) según tipo de artefacto identificado para la zona de estudio en cada uno de los inventarios indicados.

Referencia	Cocinas	Salamandras	Comb. lenta	Chimenea
Inv. RM, 2012	16.556	47.903	94.765	7.988
Inv. Rancagua, 2006	270	4.791	23.054	5.073
Inv. Talca, 2006	8.486	9.049	44.662	1.623
Inv. CM, 2005	90.127	110.355	199.010	75.359
Inv. Temuco y PLC, 2009	117.436	25.560	177.386	5.806
Inv. Coyhaique, 2008	107.410	968	95.798	5.322

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura se presenta de manera gráfica el consumo de leña según tipo de artefactos utilizados en ciudades del sur de Chile.

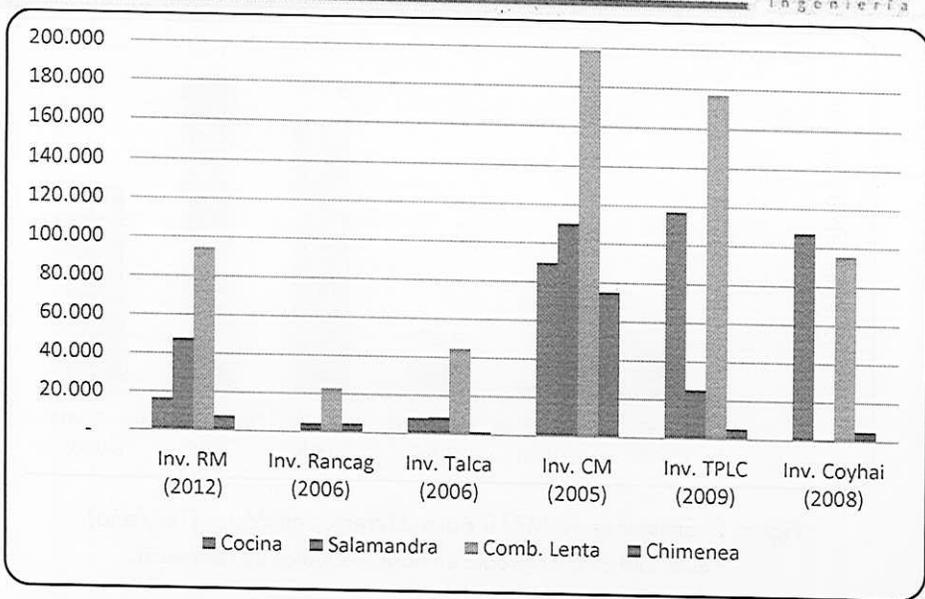


Figura 1. Consumo anual de leña según tipología de artefactos.  
Fuente: Elaboración propia en base a estudios de referencia.

Por otra parte, los factores de emisión empleados para determinar las emisiones de MP asociado a la combustión residencial de leña, son mostrados de manera genérica en la siguiente Tabla.

Tabla 3. Principales FE utilizados para estimar emisiones de la fuente combustión residencial de leña (g MP10/kg leña).

Artefacto	Humedad de leña (base húmeda)		
	0 - 20 (Típica)	20 - 30	30 - 40
Cocinas a leña	19,2	30,9	90,1
Combustión lenta	15,3	24,7	72,0
Salamandra / Chimenea / Otro	16,6	26,8	78,0

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, y en función de la disponibilidad de estas variables, se pudieron aplicar las metodologías indicadas al inicio del documento para actualizar los inventarios de emisión, haciendo uso de los factores de emisión propuestos en los inventarios desarrollados para cada ciudad. Los resultados obtenidos para la estimación de emisiones asociados a la fuente combustión residencial de leña en cada uno de los inventarios referidos, son los que se muestran en la Tabla siguiente.

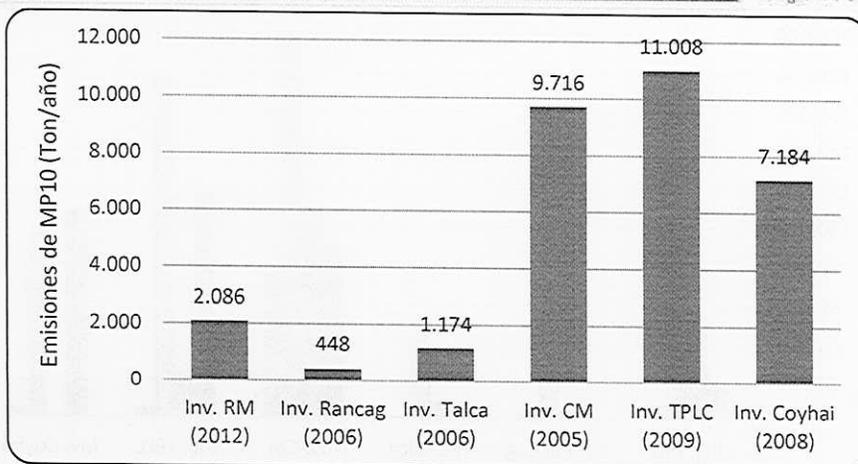


Figura 2. Emisiones de MP10 para diferentes ciudades (Ton/año).  
Fuente: Elaboración propia en base a estudios de referencia.

De lo anterior, se desprende nuevamente que las comunas de Temuco y Padre Las Casas son las que cobran mayor relevancia, dado que presentan mayores emisiones respecto de las emisiones estimadas para otras comunas. A modo de estandarizar un patrón de comparación entre los resultados obtenidos para los diferentes inventarios, se presenta una gráfica que muestra la relación existente entre la estimación de emisiones y la estimación del consumo de leña.

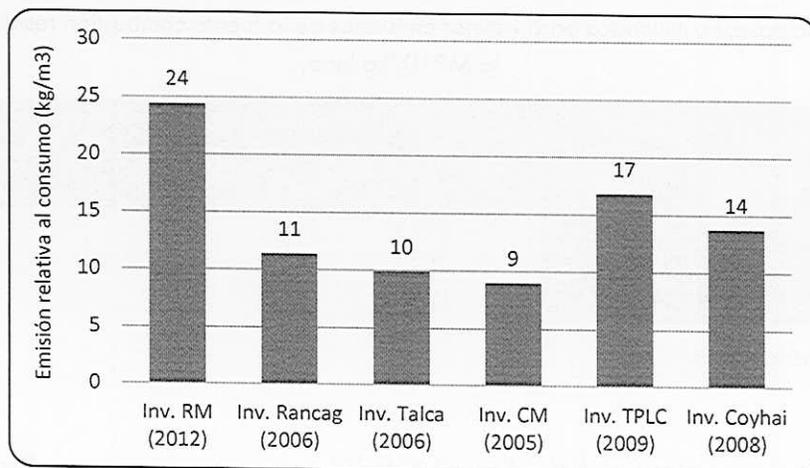


Figura 3. Emisiones de MP10 según unidad de consumo de leña (kg MP10/m<sup>3</sup> leña).  
Fuente: Elaboración propia en base a estudios de referencia.

Se desprende del gráfico anterior, que las emisiones estimadas en los inventarios de la RM (2012), así como de TPLC (2009), en relación a cada metro cúbico de leña consumida, son ampliamente superiores a las estimadas para las ciudades de Rancagua (2006), Talca (2006), y CM (2005). Esto se puede deber al hecho que ninguno de estos últimos consideró la variable "modo de operación del artefacto", una variable que hace aumentar las emisiones, cuando se demuestra que la operación del usuario no es la adecuada.

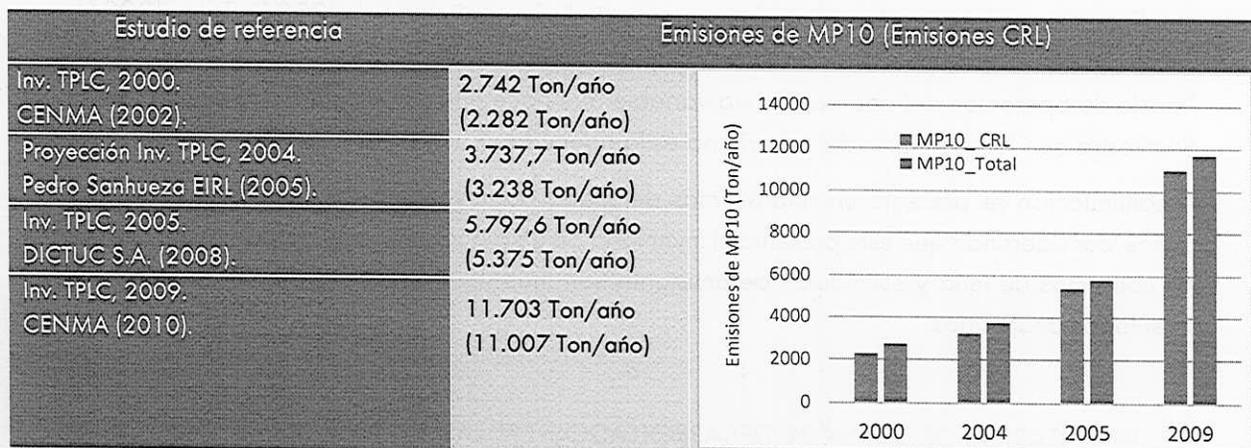
A continuación se presenta un análisis más detallado del inventario de Temuco y Padre Las Casas, considerando que este presenta el inventario de emisiones más actualizado, y por cuanto los consumos de leña y estimación de emisiones son más significativos que en el resto de los inventarios analizados.

## 1.2 INVENTARIOS DE EMISIÓN DESARROLLADOS EN LAS COMUNAS DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS".

A mediados del año 2000, CONAMA Región de La Araucanía inició un monitoreo continuo de MP10, a través del cual se comprobó la ocurrencia de valores altos de PM10 durante los meses más fríos (abril a septiembre) y que más tarde motivarían el desarrollo de múltiples estudios técnicos para determinar, entre otras cosas, los niveles de contaminación y sus principales fuentes. De esta manera, el primer inventario de emisiones para las comunas de Temuco y Padre Las Casas fue realizado para el año base 2000, por el Centro Nacional de Medio Ambiente, CENMA [7], y posteriormente actualizado en dos ocasiones, para el año base 2005, por el Centro de Investigaciones Científicas de la Universidad Católica de Chile, DICTUC [8], y para el año base 2009, nuevamente por CENMA [5].

En la Tabla siguiente se presenta un resumen de los resultados de estimación de emisiones, presentado en el inventario de emisiones del año base 2000, y sus actualizaciones sucesivas. En la Tabla se puede ver reflejada la relevancia de la fuente combustión residencial de leña respecto del total estimado.

Tabla 4. Comparación de emisiones estimadas para combustión residencial de leña (CRL), respecto del total estimado en inventarios desarrollados previamente en las comunas de Temuco y Padre Las Casas.



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, existe una variación evidente en los resultados obtenidos en la estimación de emisiones de MP10, con un marcado incremento en la última actualización del inventario de emisiones (2009). Más allá de otros análisis que se presentan más adelante, estas variaciones no solo tienen que ver con el aumento del consumo de leña, puesto que estas variaciones han evolucionado a menor ritmo, manteniendo cierta tendencia entre los diferentes estudios. La gráfica siguiente permite identificar que no existe una relación directa entre las emisiones estimadas y el consumo de leña, ya que por ejemplo, se observa que para la actualización al año base 2009, la estimación de emisiones se descuelga completamente del consumo de leña proyectado para el mismo año.

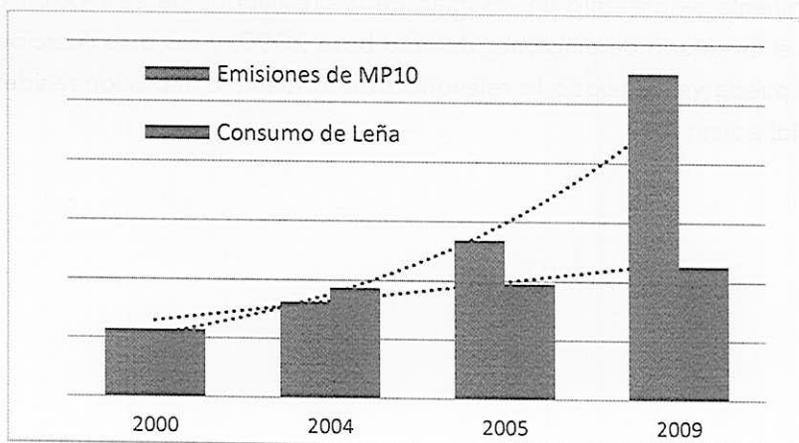


Figura 4. Relación entre las emisiones de MP10 y el consumo de leña, según inventarios de TPLC.

Nota: Se predefinió una relación 1:1 para el año base, solo para mostrar la tendencia de cada estimación.

Fuente: Elaboración propia, en base a información reportada en los estudios de referencia.

A partir de este breve análisis, se considera que a pesar de los esfuerzos realizados en cada actualización, no existe una línea base clara que permita comparar los resultados de uno y otro, ya que cada consultor a cargo de su desarrollo fue incorporando antecedentes disponibles a la fecha de estimación, y variables a las formas de cálculo que derivan en cambios sustanciales en las emisiones estimadas.

### 1.3 POSIBLES FUENTES DE ERROR DETECTADAS EN EL DESARROLLO DE LOS INVENTARIOS.

Volviendo a los resultados presentados en la gráfica anterior, y pensando en las situaciones que pudieron generar las variaciones entre las estimaciones de los diferentes inventarios, cabe la posibilidad de que se haya incurrido en errores. Estos errores podrían estar asociados a la estimación de consumo de leña, la identificación y selección de los FE, y en la aplicación de los mismos.

#### **Respecto a la determinación del consumo de leña**

Luego de revisar los procedimientos empleados por CENMA para la determinación del consumo de leña, se advierten los siguientes posibles errores de estimación:

Luego de estimar un consumo promedio de leña, a través de la aplicación de una encuesta de consumo residencial, se realizan proyecciones mediante factores de expansión de la muestra, que consideran las viviendas totales del área urbana, sin discriminar entre viviendas no ocupadas (abandonadas, en venta sin habitantes, en arriendo sin habitantes, etc.), viviendas tipo departamento, ubicados en edificios que utilizan sistemas de calefacción alternativos, o que al utilizar leña, son caracterizados por otra vía (fuentes fijas asociadas a caldera de calefacción).

El consumo promedio de leña obtenido en la muestra, se expande para obtener el consumo total de la ciudad, para lo cual se utilizaron los datos del Censo 2002. No obstante, esto no sería representativo del consumo, por cuanto el consumo promedio se obtiene básicamente de una muestra de viviendas del tipo casa. Cabe la siguiente interrogante *¿se aplicó encuestas en el piso 10 del edificio determinado?* Si la respuesta fuere SI, *¿a quién se aplicó la encuesta, al dueño del departamento o al encargado de operar el sistema de calefacción colectivo?*

En la Tabla siguiente se muestra la distribución del tipo de viviendas presentes en las comunas de Temuco y Padre Las Casas para el año 2002. Luego, cabe destacar que en la última década el número de departamentos se ha incrementó exponencialmente, representando a la fecha, cerca del 20% del total de viviendas. Esto claramente pudiese representar una fuente de error en la estimación del consumo de leña.



Tabla 5. Distribución de viviendas según tipo, de acuerdo a clasificación del Censo 2002.

Leña Seca	N° viviendas	%
<b>VIVIENDAS TOTALES DEL ÁREA URBANA</b>	63.527	100%
Viviendas tipo casa	52.468	82,6%
Viviendas tipo departamento	4.923	7,7%
Viviendas tipo otras	3.805	6,0%
Viviendas no ocupadas <sup>1</sup>	2.331	3,7%

<sup>1</sup> corresponde a viviendas abandonadas, o permanente desocupadas.

Fuente: Elaboración propia

### Respecto a la pertinencia de los FE utilizados

Los FE utilizados por DICTUC y por CENMA para realizar la estimación de emisiones de los años 2005 y 2009 son los mismos. Los antecedentes presentados por CENMA durante la última actualización del inventario indican que no hay nuevos FE que incorporar en el análisis, y que por tanto se utilizan los mismos empleados por DICTUC, para así también poder comparar los resultados obtenidos en cada uno de ellos.

Respecto de estos FE que son presentados en la Tabla siguiente, se puede decir que estos no tienen ningún acercamiento directo con la realidad nacional, lo que aumenta la posibilidad de incertidumbre en la estimación. Además, las siguientes observaciones cobran sentido relevante que aumenta la necesidad de buscar FE alternativos:

- Corresponden a FE propuestos por la EPA, obtenidos a partir de mediciones de artefactos a leña utilizados en EE.UU, hace más de 25 años atrás.
- Fueron determinados bajo condiciones distintas a las presentadas en Chile, en términos de los artefactos de combustión evaluados, el tipo de leña utilizada, y el estado de humedad de esta, únicamente leña seca.
- Los valores proyectados para el uso de leña húmeda fueron realizadas en Chile, mediante el uso de curvas que relacionan la humedad de la leña y el aumento de las emisiones. El estudio que busca esta relación fue desarrollado a fines del año 1988 en Alemania, nuevamente bajo condiciones totalmente distintas a las presentadas en Chile.
- Los FE para una mala condición de operación fueron obtenidos del estudio desarrollado en Suiza por la empresa VERENUM [9], donde una estufa de fabricación nacional<sup>1</sup> fue evaluada bajo condiciones extremas de mala operación, que no representan la definición de mala operación utilizada en los inventarios nacionales para estimar emisiones, la que se determina mediante la aplicación de una encuesta con la pregunta "¿Cómo usa el tiraje de su estufa?".

<sup>1</sup> Calefactor marca Bosca, modelo Limit 380.

Tabla 6. FE para combustión residencial de leña, empleados por DICTUC y CENMA en la actualización del inventario de emisiones para el año base 2005 y 2009, respectivamente.

Leña Seca	Leña seca (20% b.h.)	Leña húmeda (30% b.h.)	Mala operación
Cocina a leña	19,2	30,9	-
Combustión lenta	15	24,2	76
Salamandra	17,3	27,9	-

Fuente: Elaboración propia en base

### Respecto de los mecanismos de cálculo involucrados en la estimación de emisiones.

La estimación del consumo de leña obtenido a partir de la encuesta entrega, generalmente, un valor de consumo en m<sup>3</sup> estéreos de leña, distribuido según el alcance del estudio, ya sea por tipo de artefactos, nivel de humedad, área geográfica al interior de la zona de estudio. No obstante, para realizar el cálculo de emisiones, este consumo debe estar en unidades de kg de leña. Esta simple conversión es un punto de desencuentro entre los diferentes estudios.

Para la última actualización del inventario, año base 2009, CENMA empleó un factor de conversión o de densidades correspondientes a 500 kg/m<sup>3</sup> estéreo de leña, sin diferenciar entre leña seca y leña húmeda, que evidentemente tienen densidades distintas. Otros estudios emplean valores de hasta 370 kg/m<sup>3</sup> para leña seca y de 590 kg/m<sup>3</sup> para leña húmeda. Notar que esta simple acción, genera que la estimación del consumo de leña seca realizado para Temuco el año 2009 por CENMA, genere sobreestimaciones cercanas al 25%, según se puede observar en el siguiente ejemplo de cálculo:

Caso 1: Estimación según CENMA, 2010

$$\frac{580.552 \text{ m}^3 \text{ leña/año} \times 22\% \text{ leña seca} \times 500 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/Ton}} = 63.861 \text{ Ton leña seca/año}$$

Caso 2: Estimación según densidad corregida para leña seca<sup>2</sup> (SICAM, 2014)

$$\frac{580.552 \text{ m}^3 \text{ leña/año} \times 22\% \text{ leña seca} \times 370 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/Ton}} = 47.257 \text{ Ton leña seca/año}$$

<sup>2</sup> Valores de densidad propuestos por estudio del INFOR, 2005.

De esta manera, la estimación de consumo de leña determinada por CENMA para la estimación de emisiones en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, con año base 2009, estaría siendo sobreestimada en un 35%, lo cual impacta directamente en la sobrestimación de emisiones.

Otro caso en el cual el procedimiento no se ajusta a la metodología, se relaciona con la forma de cálculo empleada al usar el FE correspondiente, el cual está determinado específicamente para la quema de leña seca, debiendo descontarse su contenido de humedad.

Caso 1: metodología bien aplicada:

$$E_{MP10} = 1000 \frac{\text{kg leña}}{\text{año}} \times 80\%_{\text{leña seca}} \times 15,3 \frac{\text{g MP10}}{\text{kg leña}} = 12,2 \frac{\text{kg MP10}}{\text{año}}$$

Caso 2: metodología mal aplicada:

$$E_{MP10} = 1000 \frac{\text{kg leña}}{\text{año}} \times 15,3 \frac{\text{g MP10}}{\text{kg leña}} = 15,3 \frac{\text{kg MP10}}{\text{año}}$$

Aplicando solo este ajuste al inventario de Temuco y Padre Las Casas, tomado como ejemplo, las emisiones disminuyen en aproximadamente un 25%, bajando de 11.014 Ton/año a 8.012 Ton/año.

## 2 RECOPIACIÓN Y SELECCIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN PARA SU APLICACIÓN REPRESENTATIVA EN INVENTARIO DE EMISIONES.

El desarrollo de un buen inventario de emisiones requiere, además de los niveles de actividad (asociado básicamente al consumo de leña), contar con FE que reflejen mediante su representatividad las condiciones reales del proceso de combustión residencial de leña de un área determinada.

Luego, para poder identificar los FE que mejor representen estas condiciones se debe tener antecedentes respecto de las variables que caracterizan el proceso de combustión, y que por ende condicionan los FE a seleccionar. En términos prácticos, el proceso de combustión residencial de leña está marcado por dos aspectos fundamentales, la tecnología de combustión empleada y la operación de esta por parte del usuario. Si consideramos que la tecnología viene condicionada por fabricación, será más fácil poder establecer ciertos márgenes de comportamiento, por lo que resultará más crítico poder determinar con precisión los términos que son inherentes al usuario, lo cual se traduce en conocer la calidad del combustible utilizado (principalmente en términos del % humedad de la leña), y la regulación de la mezcla aire-combustible, determinada básicamente por la carga de leña y la manipulación del control de ingreso de aire de combustión.

*En general, se ha podido determinar que el factor de emisión es una función del tipo de artefacto, el modo de operación del mismo, y el contenido de humedad de la leña. De acuerdo a lo señalado por VERENUM [9], la diferencia en las emisiones generadas al variar la especie de leña, es poco relevante si se compara con la diferencia de emisiones generadas a partir de pruebas con leña de diferente contenido de humedad, y modos de operación del artefacto.*

A continuación se presenta una descripción que permite caracterizar estos dos aspectos fundamentales del proceso de combustión (tecnología y operación):

## 2.1 ESTUDIO Y ANÁLISIS DE FACTORES DE EMISIÓN UTILIZADOS EN CHILE

En adelante, se presenta una acabada discusión respecto a los FE empleados en los inventarios de emisión desarrollados en Chile, para la fuente combustión residencial de leña. Si bien, los inventarios han considerado factores de emisión para la estimación de MP10, MP2,5, CO, NOx, SO2 y COVs, en el presente análisis se concentra esencialmente en los FE de MP10 y MP2,5, por cuanto corresponden al contaminante más significativo para este tipo de fuentes.

La siguiente Tabla muestra las variables que han sido determinadas para la estimación de emisiones en tres ciudades del sur de Chile. Estos se asocian a la caracterización del stock de artefactos en uso, el consumo de leña que los caracteriza, y su modo de operación.

Tabla 7. Antecedentes para la caracterización del consumo residencial de leña y estimación de emisiones en ciudades del sur de Chile, tomadas de los inventarios de emisión disponibles.

Ciudad	Tipo de Artefactos identificados	Variantes del consumo de leña	Operación del artefacto
Inv. Talca, 2006	Cocinas Calefactor comb. lenta Salamandras Chimeneas Braseros	M3 de leña utilizada (total) Distribución de la calidad Consumo por tipo de artefacto.	No considerada
Inv. Coyhaique, 2008	Cocina Calefactor comb. lenta Salamandra, chimenea, otra	M3 de leña utilizada (total) Distribución según rangos de consumo Distribución de la calidad (estimada)	No disponible
Inv. TPLC, 2009	Cocinas Salamandras Calefactor comb. lenta Chimeneas, otras	M3 de leña utilizada (total) Distribución de la calidad Consumo por tipo de artefacto.	Según buena/mala operación

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, si bien en el capítulo inicial se mostró una Tabla con los principales FE utilizados en Chile, no se presentó información detallada respecto de su procedencia, fuente de información y/o análisis de su representatividad y pertinencia. La siguiente Tabla muestra los FE sugeridos.

Tabla 8. FE de MP (g/kg) para CRL, utilizados en los inventarios desarrollados en diferentes ciudades del sur de Chile que utilizan leña para efectos de calefacción y cocción de alimentos.

Artefacto	Humedad (base húmeda)			
	0 - 20 (Típica) <sup>3</sup>	20 - 30 <sup>3</sup>	30 - 40 <sup>3</sup>	Mala operación <sup>3</sup>
Cocinas a leña	19,2	30,9	90,1	
Calefactor sin templador	15,3	24,7	72,0	139,3
Calefactor con templador	8,3	13,5	39,3	76,0
Salamandra / Chimenea/ Otro	16,6	26,8	78,0	

Fuente: Elaboración propia.

En relación a los antecedentes presentados en la Tabla anterior, corresponde destacar que fueron determinados a partir de mecanismos distintos. Los FE presentados en la primera columna fueron tomados de propuesta de FE del AP-42 de la EPA<sup>3</sup>, y homologados en Chile para la estimación de emisiones generadas por estufas, que en teoría, se comportan de manera equivalente a las utilizadas en EE.UU.

Luego, los FE presentados en la segunda y tercera columna fueron propuestos por DICTUC S.A. en los diferentes inventarios que desarrollara esta institución. En primera instancia solo consideró dos condiciones de humedad, correspondientes a las categorías, seca y semihúmeda (0-20 y 20-30), y luego derivó en FE para leña con alto contenido de humedad y para la variable mala operación de los artefactos, recogiendo para su determinación los antecedentes disponibles a la fecha. Esta última variable representa el tiempo en que los usuarios utilizan el tiraje que regula la entrada de aire de combustión en posición cerrada.

De esta manera, los FE propuestos por la EPA para el uso con leña seca, se proyectaron mediante una propuesta de DICTUC S.A. a diferentes tipos de artefactos utilizados en Chile, y a diferentes condiciones de operación del artefacto utilizadas en Chile, en términos del contenidos de humedad de la leña utilizada y las restricciones al ingreso de aire primario de combustión. Esto, buscando representar de mejor manera lo que ocurre en gran parte del territorio nacional donde se desarrollaron inventarios de emisión para la fuente combustión residencial de leña, y donde se recogieron antecedentes de estas variables.

<sup>3</sup> REPORT ON REVISIONS TO, 5TH EDITION AP-42, Section 1.10, Residential Wood Stoves.

La siguiente Figura muestra de manera gráfica el incremento de las emisiones en función de la mayor humedad de la leña, para los distintos tipos de artefactos utilizados en Chile.

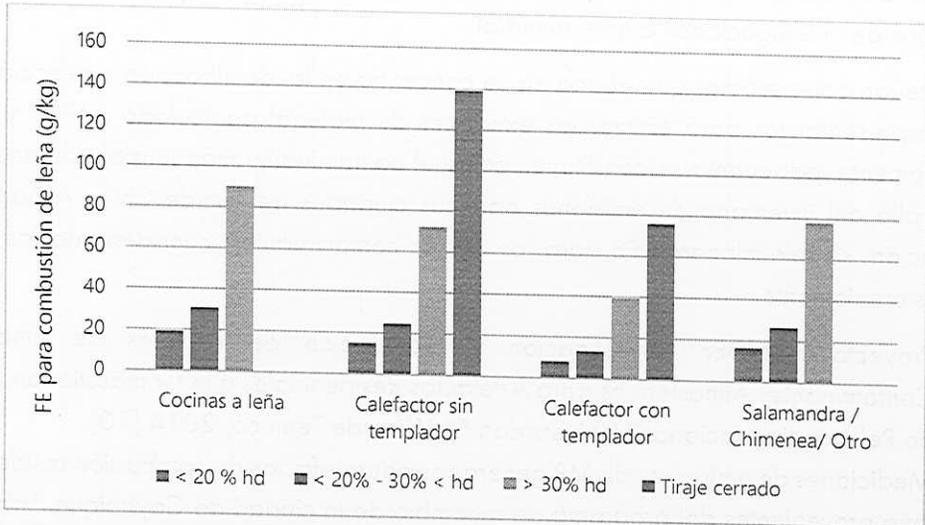


Figura 5. FE de MP10 para artefactos operados con distinta humedad de leña y regulación de tiraje. Fuente: Elaboración propia, en base a estudios de referencia.

A pesar de haber proyectado los FE a las diferentes condiciones de humedad, los inventarios desarrollados previamente no dan cuenta del uso de todos ellos, especialmente para leña con alto contenido de humedad. Esto, debido a que por los altos valores reportados para el consumo de leña húmeda, las emisiones estimadas implicaban aumentar ampliamente las emisiones, corriendo el riesgo de sobreestimar el total de la fuente. Lo mismo ocurre para el uso de FE asociados a la regulación del tiraje.

Un ejemplo de lo anterior, es el último inventario desarrollado para las comunas de Temuco y Padre Las Casas (2009), donde solo se consideran los FE de las dos primeras columnas de la Tabla 6.

## 2.2 ESTUDIO Y ANÁLISIS DE NUEVOS FACTORES DE EMISIÓN DISPONIBLES

El siguiente listado corresponde a los estudios de factores de emisión revisados dentro del presente estudio para determinar los FE más apropiados para utilizar en la estimación de emisiones de la comuna de Valdivia. Especial atención reciben los estudios realizados en Chile, ya que aportarían antecedentes más cercanos a la realidad local.

En adelante, se presenta el detalle de los FE informados en los estudios indicados. Sobre estos, se realizó un análisis de intercomparación, el cual se concentró en identificar las variables consideradas en su determinación, básicamente una caracterización del contexto en que se

obtuvieron los FE, una individualización del tipo de tecnología de combustión para el que fueron determinados, los métodos de medición o estimación utilizados, y la coherencia de los resultados presentados con las observaciones disponibles en antecedentes bibliográficos recopilados de investigaciones a nivel mundial.

De lo anterior, cabe señalar que el análisis se concentró en la identificación y selección de los FE más representativos para estimar las emisiones de material particulado, MP10 y MP2,5, respectivamente, por cuanto se constituyen como el contaminante más sensible de analizar en el desarrollo del inventario de emisiones para las ciudades del sur de Chile. A partir de su identificación, se seleccionaron FE para los demás contaminantes, considerando los criterios utilizados previamente.

- Proyecto FONDEF "Investigación y Generación de Factores de Emisión de Contaminantes Atmosféricos para Artefactos Residenciales que Combustionan Biomasa de Relevancia Nacional". Universidad Católica de Temuco, 2014 [10].
- Mediciones de emisiones de MP generadas por artefactos de combustión residencial de leña provenientes del programa de recambio de la ciudad de Coyhaique. Laboratorio emisiones Universidad Católica de Temuco, 2011 [11].
- Mediciones realizadas en el marco del programa de mejoramiento tecnológico de artefactos, desarrollado en convenio por CONAMA y Universidad Católica de Temuco, 2012 [12].
- Medición de material particulado, monóxido de carbono y eficiencia térmica para diferentes estufas del mercado nacional. Universidad de Concepción, 2012 [13].
- Medición de artefactos de uso residencial que operan con biomasa para apoyar procesos regulatorios ambientales. Reporte para CONAMA. SERPRAM, 2006 [14].
- Results from Tests on Wood Stoves and revised Recommendations for Emission Limit Values for Chile. Reporte para CONAMA. COSUDE, 2006 [9].
- Emissions Inventory Improvement Program (EIIP), Residential Wood Combustion. EPA, 2001 [15].

En adelante, se presentan el detalle de los FE informados en los estudios indicados. En esta instancia, el análisis se concentra en identificar los FE disponibles, así como las variables consideradas en su determinación, básicamente un análisis de los métodos de medición empleados y la coherencia de los resultados presentados. Luego, el primer paso es caracterizar los FE de MP, que constituyen el contaminante más sensible de analizar en el desarrollo del inventario de emisiones.

**Proyecto FONDEF D0811147 "Investigación y Generación de Factores de Emisión de Contaminantes Atmosféricos para Artefactos Residenciales que Combustionan Biomasa de Relevancia Nacional", UCT, 2014 [10].**

El proyecto FONDEF D0811147, "Investigación y Generación de Factores de Emisión de Contaminantes Atmosféricos para Artefactos Residenciales que Combustionan Biomasa de Relevancia Nacional", fue desarrollado en conjunto por la Universidad Católica de Temuco y la Universidad Federico Santa María.

Se ejecutó entre los años 2010 y 2013, y buscó generar antecedentes que permitieran reducir la incertidumbre asociada a los inventarios de emisión, mediante la generación de FE para distintas tecnologías de combustión, y especies de leña usadas en el territorio nacional. Incorporando además la humedad de la leña, y el modo de operación de los artefactos. El proyecto financió la adquisición de equipamiento, mejoras de infraestructura de laboratorios, capacitación técnica, participación en congresos, y difusión de resultados, entre otros. Considerando su envergadura, y el contexto en que se ejecutó, este proyecto se constituye como la mayor y más detallada fuente de información para la selección de Factores de Emisión asociados a la fuente combustión residencial de leña, representativa de todo el territorio nacional.

La investigación consideró el uso de 7 tipos de leña, las cuales fueron medidas en los siguientes artefactos: salamandra, cocina, estufa con templador y estufa sin templador. Cada artefacto se operó con leña seca y húmeda. Para el caso de salamandra y cocina se operó con tiraje abierto y cerrado, para el caso de la estufa con templador tiraje cerrado, medio y abierto y la estufa sin templador con tiraje medio y abierto. También se realizaron pruebas en una estufa doble cámara, para 2 especies de leña, eucaliptus y hualle, seco y húmedo, con tiraje medio y abierto.

En relación a las metodologías empleadas para la determinación de los FE de MP, estas se basaron en los métodos establecidos en Chile para la determinación de material particulado proveniente de calefactores a leña, métodos CH-28<sup>4</sup>, que entre otras cosas, establece la infraestructura y el modo en que se debe operar el calefactor durante las pruebas de medición, y el método CH-5G<sup>5</sup>, que establece el equipamiento y el procedimiento que se debe utilizar para la toma de muestras. Un aspecto importante del proyecto fue que no consideró una aplicación estricta del método CH-28, ya que en lugar de utilizar madera aserrada de *Eucaliptus globulus*, como se establece en este método, se buscó imponer una operación que a juicio de los investigadores fuese más representativa de la realidad local, por lo que se utilizaron tipos y cargas de leña y regulación del ingreso de aire, más típicas de la realidad nacional.

Las Tablas siguientes muestran los FE de MP10 obtenidos en la investigación.

<sup>4</sup> Determinación de material particulado y certificación y auditoría de calefactores a leña.

<sup>5</sup> Determinación de las emisiones de partículas de calefactores a leña medidas desde un túnel de dilución.

Tabla 9. FE de MP (g/kg) obtenidos para diferentes artefactos operados con tiraje cerrado y leña seca de diferentes especies, en Laboratorio de Emisiones de la UC Temuco.

Tipo Artefacto	Modo de uso Tiraje: CERRADO				
Leña Seca	Salamandra	Cocina	Estufa S/T	Estufa C/T	Estufa D/C
Eucalipto	9,9	8,3	-	14,5	-
Hualle	19,9	7,2	-	10,9	-
Aromo	13,8	4,4	-	6,7	-
Frutales	8,7	8,5	-	11,7	-
Lenga	11,2	9,2	-	12,1	-
Ulmo	22,9	8,1	-	13,1	-
Canelo	17,8	7,1	-	11,7	-

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de proyecto FONDEF D0811147.

Tabla 10. FE de MP (g/kg) obtenidos para diferentes artefactos operados con tiraje abierto y leña seca de diferentes especies, en Laboratorio de Emisiones de la UC Temuco.

Tipo Artefacto	Modo de uso Tiraje: ABIERTO				
Leña Seca	Salamandra	Cocina	Estufa S/T	Estufa C/T	Estufa D/C
Eucalipto	12,9	6,8	7,0	6,4	3,4
Hualle	12,9	3,6	5,1	2,9	4,1
Aromo	14,1	4,2	6,8	8,2	-
Frutales	9,4	11,2	3,0	2,1	-
Lenga	7,7	3,8	5,3	6,5	-
Ulmo	7,5	5,8	8,3	5,6	-
Canelo	20,2	16,5	4,9	3,3	-

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de proyecto FONDEF D0811147.

Tabla 11. FE de MP (g/kg) obtenidos para diferentes artefactos operados con tiraje medio y leña seca de diferentes especies, en Laboratorio de Emisiones de la UC Temuco.

Tipo Artefacto	Modo de uso Tiraje: MEDIO				
Leña Seca	Salamandra	Cocina	Estufa S/T	Estufa C/T	Estufa D/C
Eucalipto	-	-	6,8	7,0	6,3
Hualle	-	-	4,8	5,1	14,9
Aromo	-	-	7,1	2,9	-
Frutales	-	-	5,5	3,0	-
Lenga	-	-	4,9	5,3	-
Ulmo	-	-	4,1	8,3	-
Canelo	-	-	10,9	4,9	-

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de proyecto FONDEF D0811147.

De los primeros resultados presentados, se observa que hay una gran cantidad de configuraciones para las cuales no se determinaron FE El informe del proyecto no especifica los motivos de esta situación.

En las siguientes figuras se muestra de manera gráfica la distribución de los FE determinados en el proyecto FONDEF D081147, para esta primera serie de ensayos, que consideró la operación de diferentes artefactos, con 7 especies diferentes de leña seca, pero con distinta regulación del ingreso de aire primario de combustión.

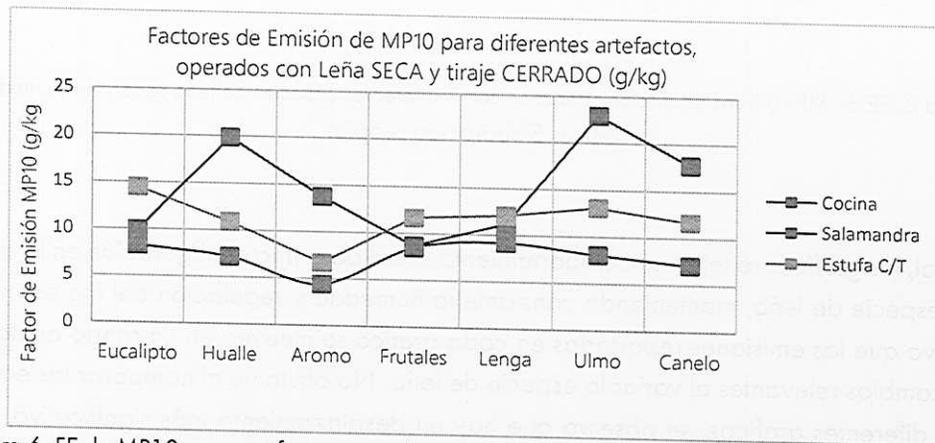


Figura 6. FE de MP10 para artefactos operados con 7 diferentes especies de leña seca y tiraje cerrado.  
Fuente: Elaboración propia.

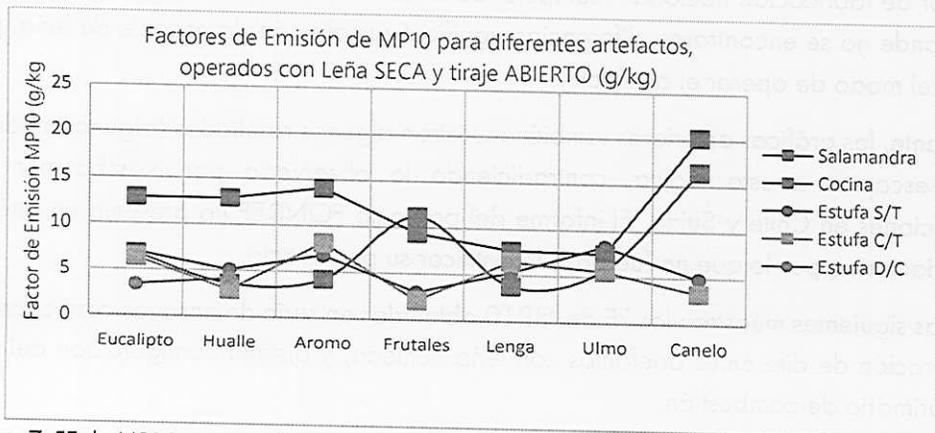


Figura 7. FE de MP10 para artefactos operados con 7 diferentes especies de leña seca y tiraje abierto.  
Fuente: Elaboración propia.

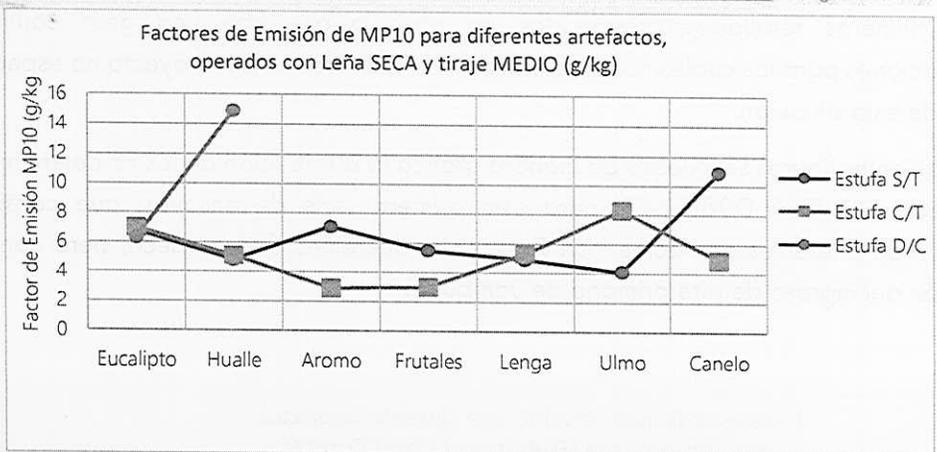


Figura 8. FE de MP10 para artefactos operados con 7 diferentes especies de leña seca y tiraje medio.  
Fuente: Elaboración propia.

En general, las gráficas reflejan un comportamiento lineal para una configuración en la que solo varía la especie de leña, manteniendo constante la humedad y regulación del ingreso de aire. Se observa que las emisiones reportadas en cada gráfico se mueven en un rango acotado, sin mostrar cambios relevantes al variar la especie de leña. No obstante al comparar las emisiones entre los diferentes gráficos, se observa que hay un desplazamiento más significativo, que se asocia a la regulación del ingreso de aire. Esto es concordante con los resultados presentados en el informe del proyecto COSUDE (Nussbaumer, 2006), que consideró ensayos de un calefactor de fabricación nacional, manipulando estas mismas variables, en un Laboratorio en Suiza, donde no se encontraron diferencias significativas al variar la especie de leña, pero si, al variar el modo de operar el artefacto.

No obstante, las gráficas anteriores también muestran algunos resultados (algunas mediciones) que se escapan a esta lógica, contradiciendo lo observado por Nussbaumer en sus investigaciones en Chile y Suiza. El informe del proyecto FONDEF no presenta un análisis de estas variaciones, por lo que no fue posible justificar su pertinencia.

Las Tablas siguientes muestran los FE de MP10 obtenidos en serie de ensayos correspondientes a la operación de diferentes artefactos con leña húmeda, y distinta configuración del ingreso de aire primario de combustión.

Tabla 12. FE de MP (g/kg) obtenidos para diferentes artefactos operados con tiraje cerrado y leña húmeda de diferentes especies, en Laboratorio de Emisiones de la UC Temuco.

Tipo Artefacto	Modo de uso Tiraje: CERRADO				
Leña Húmeda	Salamandra	Cocina	Estufa S/T	Estufa C/T	Estufa D/C
Eucalipto	31,2	15,4	-	31,6	-
Hualle	24,1	12,4	-	28,8	-
Aromo	34,0	12,9	-	19,8	-
Frutales	27,1	12,6	-	29,6	-
Lenga	24,5	16,7	-	28,0	-
Ulmo	32,9	33,2	-	39,5	-
Canelo	25,9	27,0	-	18,2	-

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de proyecto FONDEF D0811147.

Tabla 13. FE de MP (g/kg) obtenidos para diferentes artefactos operados con tiraje abierto y leña húmeda de diferentes especies, en Laboratorio de Emisiones de la UC Temuco.

Tipo Artefacto	Modo de uso Tiraje: ABIERTO				
Leña Húmeda	Salamandra	Cocina	Estufa S/T	Estufa C/T	Estufa D/C
Eucalipto	34,7	8,1	6,9	8,1	13,0
Hualle	15,4	14,1	17,4	10,7	19,6
Aromo	47,7	17,6	18,3	15,2	-
Frutales	12,7	13,6	8,3	3,9	-
Lenga	37,1	8,9	9,5	10,3	-
Ulmo	39,4	29,8	8,6	10,0	-
Canelo	45,6	29,2	10,0	5,3	-

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de proyecto FONDEF D0811147.

Tabla 14. FE de MP (g/kg) obtenidos para diferentes artefactos operados con tiraje medio y leña húmeda de diferentes especies, en Laboratorio de Emisiones de la UC Temuco.

Tipo Artefacto	Modo de uso Tiraje: MEDIO				
Leña Húmeda	Salamandra	Cocina	Estufa S/T	Estufa C/T	Estufa D/C
Eucalipto	-	-	10,5	10,4	32,8
Hualle	-	-	14,7	6,8	31,3
Aromo	-	-	29,9	17,2	-
Frutales	-	-	7,8	4,1	-
Lenga	-	-	11,9	8,0	-
Ulmo	-	-	14,3	16,1	-
Canelo	-	-	28,9	7,5	-

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de proyecto FONDEF D0811147.

En las siguientes figuras, se muestra de manera gráfica la distribución de los FE determinados en el proyecto FONDEF D0811147, para esta serie de ensayos, que correspondió a la operación de diferentes tipos de artefactos con 7 especies de leña húmeda, y distinta regulación del ingreso de aire primario de combustión.

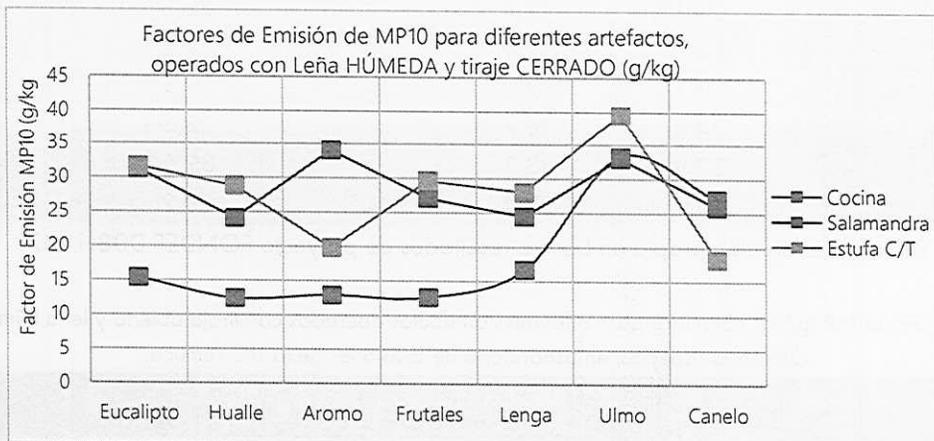


Figura 9. FE de MP10 para artefactos operados con 7 diferentes especies de leña húmeda y tiraje cerrado. Fuente: Elaboración propia.

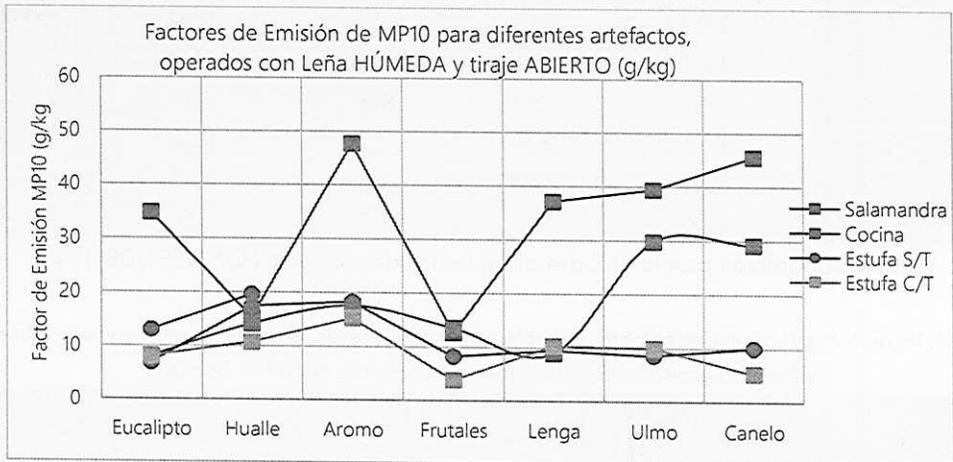


Figura 10. FE de MP10 para artefactos operados con 7 diferentes especies de leña húmeda y tiraje abierto. Fuente: Elaboración propia.

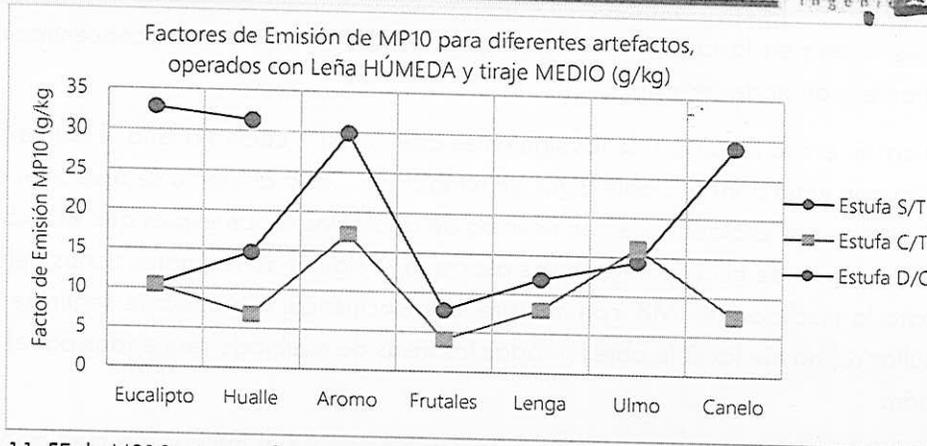


Figura 11. FE de MP10 para artefactos operados con 7 diferentes especies de leña húmeda y tiraje medio.  
Fuente: Elaboración propia.

Al analizar las últimas gráficas, correspondientes a los FE propuestos en el proyecto Fondef D0811147, en base a resultados de mediciones que se realizaron a diferentes artefactos de combustión, operados con leña húmeda de 7 diferentes especies de biomasa. Al respecto, se refuerza la idea mencionada para el caso anterior (leña seca), ya que se presentan resultados que escapan al comportamiento esperado en cuanto al nivel de emisiones entre diferentes especies de leña. De igual manera, existe una gran cantidad de configuraciones que no presentan resultados.

En términos generales, las gráficas reflejan FE distribuidos en un acotado rango de valores, para aquellas configuraciones en que solo varía la especie de leña (manteniendo constante la humedad y regulación del ingreso de aire). No obstante hay algunas mediciones que se escapan a esta lógica. Al igual que para el caso de leña seca, el informe del proyecto FONDEF no presenta un análisis de estas variaciones, por lo que no fue posible justificar su pertinencia.

### Medición de emisiones de estufas usadas provenientes del recambio de calefactores de Coyhaique, 2011 [11].

El siguiente corresponde a otro estudio desarrollado por la Universidad Católica de Temuco, a través de su Laboratorio de Emisiones. Se trata de los resultados obtenidos del proyecto "Medición de emisiones de MP generadas por artefactos de combustión residencial de leña provenientes del programa de recambio de la ciudad de Coyhaique".

El estudio fue solicitado con el objetivo de que a través de los resultados de mediciones, el Ministerio de Medio Ambiente pudiese evaluar el impacto del programa de recambio de

calefactores a leña en la ciudad de Coyhaique, afectada por elevadas concentraciones de MP10 durante gran parte del año.

El estudio consideró la medición de los siguientes artefactos: 1 cocina a leña, 1 estufa hechiza, 1 calefactor con templador y 3 calefactor sin templador. Cada artefacto se operó de acuerdo a lo establecido en el protocolo de certificación de artefactos residenciales que usan biomasa, CH-28, con madera de Eucaliptus globulus aserrada, y siguiendo las indicaciones del método CH-5G para la medición del MP, con muestreador isocinético. No obstante según se muestra en los resultados, no fue factible obtener todas las tasas de quemado requeridas por el método de medición.

Las mediciones fueron realizadas siguiendo lo establecido en el método de medición de MP proveniente de calefactores a leña, CH-5G, y por el protocolo de certificación artefactos residenciales que usan biomasa, CH-28.

Tabla 15. Factores de Emisión (g/kg) y tasa de emisión (g/h) de MP obtenido de los ensayos a un grupo de artefactos provenientes del programa de recambio de la ciudad de Coyhaique (2011), previo a chatarrización, en Laboratorio de Emisiones UCT, 2012.

Tipo Artefacto	FE (g/kg leña), según rango de tasa de quemado				Emisión MP g/h
	< 0,8 kg/h	0,8-1,2 kg/h	1,2-1,9 kg/h	>1,9 kg/h	
Artefacto 1: Cocina mediana	NF	NF	9,6**	NF	16,8
Artefacto 2: Salamandra	NF	23,1	32,9	NF	34,2
Artefacto 3: Calefactor	NF	NF	21,5	10,3	28,0
Artefacto 4: Calefactor	NF	NF	ND	18,4**	44,8
Artefacto 5: Calefactor	NF	NF	ND	10,1**	34,9
Artefacto 6: Calefactor	NF	45,8	32,4**	22,0	42,2

\*\* Promedio de dos corridas de medición.

\*\*\* Promedio de tres corridas de medición.

ND: No disponible.

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de mediciones de Laboratorio de mediciones UCT.

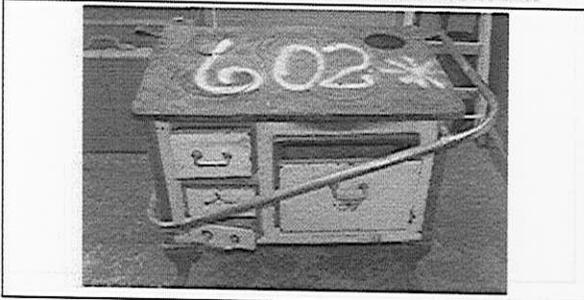
De los resultados presentados, se puede ver la dificultad para conseguir llevar adelante los ensayos, especialmente para conseguir bajas tasas de quemado, esto puede representar un efecto de diseño, pero al mismo tiempo, el efecto producido por los años de uso y condiciones de mantención de los artefactos. En efecto, los resultados obtenidos para el artefacto 6, correspondiente a un calefactor de combustión lenta sin templador, constituyen un dato de alto valor, por la representatividad del artefacto en cuanto al perfil tecnológico, y la factibilidad de haber operado en una tasa de quemado baja con tiraje cerrado.

Artefacto 1: N° 602

Tipo de Tecnología	Cocina mediana
Fabricante	No determinado
Modelo	No determinado
Control de Ingreso de Aire Primario	Puerta bajo la cámara de combustión
Otras configuraciones	Control de tiraje
Volumen de la cámara de combustión	0,0162 m³

Observaciones:

- La superficie exterior de la cocina se encuentra en muy malas condiciones, con barrotes y patas caídas, paredes y cubierta deterioradas (plataforma y anillos quebrados). En tanto que la superficie interna de la cámara de combustión, del horno y el conducto de humos se encuentra con fisuras mayores.
- Respecto de los dispositivos para el control de la combustión, cabe señalar que:
  - La puerta de regulación de aire ubicada bajo la puerta de carga de leña, se encuentra absolutamente desengajada y sin manilla de sujeción.
  - El regulador de tiraje, cuya función es deflectar los gases hacia el horno, y con ello transferir calor al mismo (retardando por defecto la salida de los humos por la chimenea), se encuentra totalmente destruido (fundido).

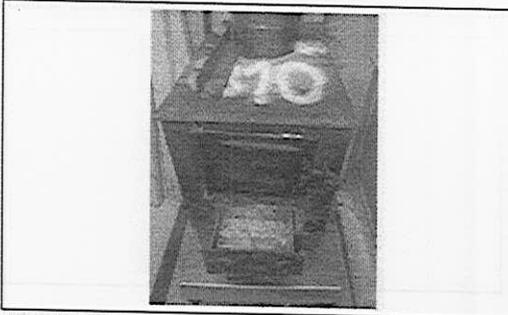


Artefacto 2: N° 810

Tipo de Tecnología	Salamandra
Fabricante	No determinado
Modelo	No determinado
Control de Ingreso de Aire Primario	Cenicero bajo la cámara de combustión
Material	Lata 1,5 mm espesor
Otras configuraciones	Sin control de tiraje
Volumen de la cámara de combustión	0,0171 m³

Observaciones:

- El artefacto corresponde a un dispositivo pequeño, de construcción aparentemente artesanal o doméstica, cuyas características constructivas conspiran negativamente para tener un proceso eficiente de la combustión.
- Respecto de los dispositivos para el control de la combustión, cabe señalar que:
  - La regulación de ingreso de aire de combustión se realiza, en teoría, mediante la puerta del cenicero. En la práctica, la baja hermeticidad de las paredes y la puerta de carga de leña, provocan un flujo constante de aire hacia la caja de fuego.
  - No dispone de regulador de tiraje, lo cual genera que los gases de combustión sean evacuados a gran temperatura por la chimenea, con las pérdidas de energía asociadas.

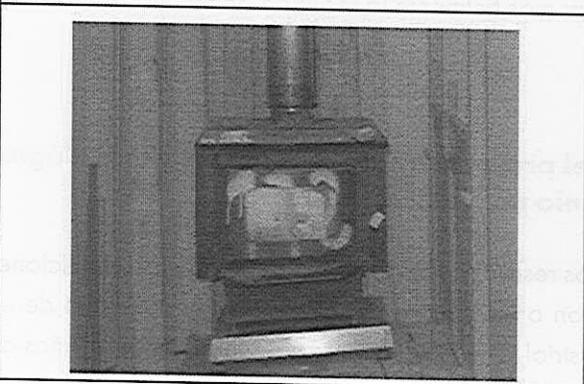


Artefacto 3: N° 172

Tipo de Tecnología	Calefactor de cámara simple (sin templador)
Fabricante	No determinado
Modelo	No determinado
Control de Ingreso de Aire Primario	Manilla de regulación frontal
Otras configuraciones	Control de tiraje
Volumen de la cámara de combustión	0,0514 m³

Observaciones:

- Cámara de combustión: no dispone de ladrillos refractarios. La puerta de carga dispone de una lata de aluminio (zinc), en lugar de vidrio refractario, por lo que es imposible tener un cierre hermético.
- Respecto de los dispositivos para el control de la combustión:
  - el regulador de tiraje, cuya función es retardar la salida de los humos por la chimenea, se encuentra operativo, aunque torcido, impidiendo un cierre hermético.



Artefacto 4: N° 603

Tipo de Tecnología	Calefactor de cámara simple (sin templador)
Fabricante	No determinado
Modelo	No determinado
Control de Ingreso de Aire Primario	Manilla de regulación frontal
Otras configuraciones	Control de tiraje
Volumen de la cámara de combustión	0,0614 m³

Observaciones:

- Cámara de combustión:
  - Su diseño no contempla uso de ladrillos refractarios, y sus paredes se encuentran torcidas por el uso, impidiendo cierre hermético.
  - La puerta de carga de leña está sostenida mediante una cruzeta de fierro curvo (en lugar de bisagras), y en lugar de vidrio refractario, dispone de una lata de aluminio (zinc), por lo que es imposible tener un cierre hermético.
- Respecto de los dispositivos para el control de la combustión:
  - el regulador de tiraje, cuya función es retardar la salida de los humos por la chimenea, se encuentra operativo, aunque torcido, impidiendo un cierre hermético.



Artefacto 5: N° 941

Tipo de Tecnología	Calefactor de cámara simple (sin templador)
Fabricante	No determinado
Modelo	No determinado
Control de Ingreso de Aire Primario	Manilla de regulación frontal
Otras configuraciones	Control de tiraje
Cámara de combustión	0,0620 m <sup>3</sup>

Observaciones:

En general, corresponde a un artefacto altamente deteriorado, que tiene entre otros desperfectos, los que a continuación se listan:

- Cámara de combustión: no dispone de ladrillos refractarios, y denota un grado de fundición evidente, con paredes trencidas y perforadas. No dispone de puerta.
- Superficie: No dispone de paredes superficiales laterales (únicamente las paredes de la cámara de combustión).
- Respecto de los dispositivos para el control de la combustión:
  - el regulador de ingreso de aire se encuentra atascado (en la posición de máxima apertura).
  - el regulador de tiraje, cuya función es retardar la salida de los humos por la chimenea, no se encuentra disponible (descolgado de la manilla de regulación), por lo que los humos pasan directo de la cámara de combustión a la chimenea.

En resumen, este artefacto opera como una verdadera Chimenea de hogar abierto.



Artefacto 6: N° 558

Tipo de Tecnología	Calefactor de cámara simple (sin templador)
Fabricante	Appel (según placa del artefacto)
Modelo	No determinado
Control de Ingreso de Aire Primario	Manilla de regulación frontal
Otras configuraciones	Control de tiraje disponible
Volumen de la cámara de combustión	0,0590 m <sup>3</sup>

Observaciones:

En términos generales, este artefacto es el que mejores condiciones presentó.

- Disponía de control de ingreso de aire primario de combustión, y control de tiraje, 100% operativo.



Figura 12. Caracterización de artefactos provenientes del programa de recambio de Coyhaique.

Según los datos presentados en la Tabla 16, es evidente que corresponden a FE y tasas de emisión más elevadas que las observadas en el estudio presentado previamente, pero que al ser contrastados con la caracterización de los artefactos medidos (Figura 3), ampliamente deteriorados por los años de uso, se puede justificar un patrón de incremento de las emisiones. Notar que estos artefactos pueden representar más fielmente la realidad de muchos sectores de la población local.

**Mediciones realizadas en el marco del programa de mejoramiento tecnológico de artefactos, desarrollado en convenio por CONAMA-UCT. 2012 [12].**

El presente corresponde a la evaluación de los resultados obtenidos a partir de otras mediciones realizadas en el medio local, y que estuvieron orientadas a evaluar el comportamiento de un prototipo desarrollado por la Sociedad Industrial Gross S.A., empresa con más de 45 años de experiencia en la industria de producción y comercialización de artefactos de combustión residencial de leña<sup>6</sup>, líder indiscutido en la fabricación de cocinas destinadas a la cocción de alimentos y calentar agua, y fabricante e importador de calefactores.

<sup>6</sup> www.industriasgross.cl

La importancia de los factores de emisión obtenidos de los ensayos a este prototipo radican en que corresponden a un prototipo desarrollado y mejorado con apoyo del "Programa de mejoramiento de artefactos", celebrado entre la Seremi de Medio Ambiente de La Araucanía, fabricantes regionales de calefactores a leña, y la Universidad Católica de Temuco, a través de su Laboratorio de Emisiones. De igual manera, el prototipo desarrollado se basó en el diseño facilitado por la Agencia de Cooperación Suiza, COSUDE, y viene a materializar el trabajo abordado tras años de investigación y trabajo conjunto.

Tabla 16. Factores de Emisión (g/kg) y tasa de emisión (g/h) de MP obtenido de los ensayos a un calefactor de Industrias Gross denominado Sirius II, en Laboratorio de Emisiones UCT, 2012.

Tipo Artefacto	FE (g/kg leña), según rango de tasa de quemado				Emisión MP g/h
	< 0,8 kg/h	0,8-1,2 kg/h	1,2-1,9 kg/h	>1,9 kg/h	
Gross, Modelo Sirius II	ND	2,4**	2,0	1,7	2,8

\*\* Promedio de dos corridas de medición

\*\*\* Promedio de tres corridas de medición

ND: No disponible.

Fuente: Elaboración propia en base a informe de mediciones de Laboratorio de emisiones UCT.

Respecto de los datos presentados, es preciso mencionar que corresponden a los valores de emisiones más bajas conseguidas en el marco del programa de mejoramiento de artefactos al que se hace referencia. Al procesar los datos que son presentados en el informe, se obtiene que para una tasa de quemado promedio de 1,4 Kg/h de leña, el FE corresponde a 2,1gMP10/Kg de leña.

### Medición de material particulado, monóxido de carbono y eficiencia térmica para diferentes estufas del mercado nacional. UDEC, 2012 [13].

El año 2012 se encarga un nuevo estudio, de similares características al solicitado previamente al Laboratorio SERPRAM. Esta vez fue encargado a la Universidad de Concepción, por el recién instaurado Ministerio del Medio Ambiente.

Los requerimientos consistieron básicamente en medir las emisiones de MP y CO de un nuevo grupo de calefactores con presencia en el mercado nacional. No obstante se agregó la solicitud de medir a través de un Laboratorio en Chile, y de otro en EE.UU, que estuviese acreditado por la EPA para realizar ensayos de certificación de calefactores en dicho país, con el objetivo de poder contrastar los resultados y capacidades a nivel local.

Al respecto, la Universidad de Concepción, gestionó y coordinó el desarrollo de los ensayos de medición en Chile, y EE.UU., a través de los Laboratorios, OPTIFLAMA de la misma casa de estudios, y OMNI-Test de EE.UU, respectivamente. Los resultados obtenidos se presentan de manera resumida en las tablas siguientes. Con el objetivo de simplificar el análisis, se agruparon los resultados pertenecientes a una misma categoría de quemado.

Tabla 17. Factores de Emisión (g/kg) y tasa de emisión (g/h) de MP obtenidos de los ensayos de calefactores Efel, Haas&Sohn, Amesti, Bosca y Alcazar en laboratorio OMNI-Test de USA.

Tipo Artefacto	FE (g/kg leña), según rango de tasa de quemado				Emisión MP g/h
	< 0,8 kg/h	0,8-1,2 kg/h	1,2-1,9 kg/h	>1,9 kg/h	
Efel, modelo BA6000	ND	ND	14,0**	10,2	18,7
Haas&Sohn, modelo Ecoline	ND	ND	5,9	2,2**	9,3
Amesti, modelo Rondo 450	ND	11,9**	1,0	3,3	7,4
Bosca, modelo Limit 450	ND	14,1**	2,4**	0,9	8,4
Alcazar, modelo 389	57,6	ND	7,2**	1,1	21,8
	ND	ND	14,0**	10,2	18,7

\*\* Promedio de dos corridas de medición  
 \*\*\* Promedio de tres corridas de medición  
 ND: No disponible

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de mediciones de Laboratorio OMNI-Test de USA.

Tabla 18. Factores de Emisión (g/kg) y tasa de emisión (g/h) de MP obtenidos de los ensayos de calefactores Efel, Haas&Sohn, Amesti, Bosca y Alcazar y un prototipo en Laboratorio Optiflama, UDEC, 2012.

Tipo Artefacto	FE (g/kg leña), según rango de tasa de quemado				Emisión MP g/h
	< 0,8 kg/h	0,8-1,2 kg/h	1,2-1,9 kg/h	>1,9 kg/h	
Efel, modelo BA6000	ND	ND	4,3	2,6**	5,9
Haas&Sohn, modelo Ecoline	ND	ND	2,2**	2	3,9
Amesti, modelo Rondo 450	43,1	13,6	8,4	1,1	11,9
Bosca, modelo Limit 450	29,1	21,4	7,1	3,3	19,9
Alcazar, modelo 389	37,2	3,1	4,3	1,8	7,5
Prototipo	ND	ND	3,8	0,9**	2,2

\*\* Promedio de dos corridas de medición  
 \*\*\* Promedio de tres corridas de medición  
 ND: No disponible

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de mediciones de Laboratorio Optiflama, UDEC.

**Medición de artefactos de uso residencial que operan con biomasa para apoyar procesos regulatorios ambientales. Reporte para CONAMA. SERPRAM, 2006 [14].**

El año 2006, la entonces Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), solicitó al Laboratorio SERPRAM, realizar ensayos de medición a un grupo de artefactos de combustión de uso residencial que operan con leña, con el propósito de conocer información de línea base de sus emisiones. Los ensayos, a escala de laboratorio, consistieron en medir las concentraciones de material particulado y gases (O<sub>2</sub> y CO) generados por cada artefacto a tasas de quemado fijas.

Cabe destacar que al año 2006, solo existían en Chile Laboratorios autorizados para medir MP en fuentes fijas, a través del método EPA-5, oficializado en Chile a través del método CH-5. No obstante, la medición de MP proveniente de estufas a leña se realiza siguiendo patrones muy similares, a través del método EPA-5G, una variante del método EPA-5. De esta manera, el Laboratorio SERPRAM contaba con capacidades para realizar ajustes en sus instalaciones y realizar ensayos preliminares con calefactores a leña, en conformidad a lo especificado en los métodos CH-28 de certificación, el método CH-5G para la determinación de las emisiones de partículas de calefactores a leña medidas desde un túnel de dilución.

Al respecto, estos resultados se constituyen como una de las primeras aproximaciones en la obtención de FE representativos de la realidad nacional, obtenida mediante adecuaciones a los métodos de referencia, y que posteriormente las mismas variables fueron abordadas con mayor nivel de detalle a través de los proyectos que fueron presentados previamente.

Tabla 19. Factores de Emisión (g/kg) y tasa de emisión (g/h) de MP obtenidos de los ensayos a equipos marca Bosca, Amesti, Pucón, Gerten, y Gross, por laboratorio SERPRAM, Chile 2006.

Tipo Artefacto	FE (g/kg leña), según rango de tasa de quemado				Emisión MP g/h
	< 0,8 kg/h	0,8-1,2 kg/h	1,2-1,9 kg/h	>1,9 kg/h	
A-1	ND	ND	3,6 <sup>***</sup>	1,23	4,7
A-2	ND	2,4	2,6 <sup>***</sup>	ND	3,2
B	3,5	1,6 <sup>**</sup>	2,6 <sup>**</sup>	ND	2,5
C	ND	ND	ND	1,7 <sup>***</sup>	6,2
D-1	ND	5,6	4,02	2,8 <sup>**</sup>	6,7
D-2	ND	25,4	22,2	ND	28,7
E	ND	ND	3,9 <sup>***</sup>	1,8 <sup>**</sup>	5
A-1	ND	ND	3,6 <sup>***</sup>	1,23	4,7
A-2	ND	2,4	2,6 <sup>***</sup>	ND	3,2

\*\* Promedio de dos corridas de medición

\* Promedio de tres corridas de medición

ND: No disponible

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de mediciones de Laboratorio SERPRAM, 2006.

A través de este estudio se hizo referencia, quizá por primera vez, que los calefactores y cocinas a leña producidas en la industria nacional tendrían problemas de fabricación, tales como entradas de aire falso a través de un cenicero, control de aire que se traba con la temperatura y no permite hacer regulaciones de la tasa de quemado, entrada de aire directo al templador no permite obtener tasas de quemado inferiores a 1,0 kg/h, tasas máximas de quemado provocan llamas en el cañón de evacuación de gases, y poca reproducibilidad de los modelos fabricados en un mismo lote o proceso de producción, lo que dificulta grandemente la evaluación representativa.

Por otra parte, nuevamente se destaca la gran diferencia que existe entre las emisiones obtenidas para tasas de quemado baja, respecto de las obtenidas en tasas de quemado medias o altas.

**Results from Tests on Wood Stoves and revised Recommendations for Emission Limit Values for Chile. Reporte para CONAMA. COSUDE, 2006 [9].**

El informe del proyecto COSUDE, elaborado por Nussbaumer el año 2006, corresponde a uno de los productos entregados por la Agencia de Cooperación Suiza a la Comisión Nacional de Medio Ambiente, con quien por años han estado colaborando en materia de calidad del aire. En este informe en particular, se entregan los resultados obtenidos de las mediciones practicadas a un calefactor fabricado por la industria nacional, bajo diferentes condiciones de operación. Los ensayos fueron practicados en Suiza, a través de laboratorios y equipamiento de monitoreo de avanzada tecnología, pero siguiendo prácticas representativas de la operación que se realiza en Chile, esto incluye:

- Uso de leña utilizada en Chile,
- Condiciones de humedad típicas empleada en Chile (Temuco),
- Modo de operación representativo de la realidad chilena.

Las mediciones fueron realizadas a través del método VDI, el cual no captura el material condensable de las emisiones. Análisis de corrección realizados en el contexto de este estudio, concluyeron que bajo condiciones de operación ideales, no existe diferencias relevantes respecto a lo medido a través del método EPA-5G, pero cuando se realizan ensayos para condiciones típicas de operación utilizadas en Chile (con leña húmeda y restricciones al ingreso de aire de combustión), la diferencia es muy notoria, donde el método VDI subestima las emisiones, precisamente porque bajo estas condiciones se genera una gran cantidad de material particulado condensable.

Respecto a las conclusiones del estudio destacan los resultados obtenidos para la estufa tradicional chilena, 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.

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.

Otro de los resultados interesantes aportados en este estudio, dicen relación a que las diferencias en la generación de emisiones como función de la especie de leña, es irrelevantes, respecto a la condición de humedad de la leña o el modo de operación del artefacto (Nussbaumer, 2006).

Respecto de este estudio, es preciso señalar que las condiciones definidas para efectuar los ensayos, son en algunos casos llevadas a los extremos. Por ejemplo, se define como condición ideal una operación con leña cuyo contenido de humedad es tan solo un 12%, muy por debajo de lo establecido en Chile como leña seca (25%). Por otra parte, se define como condición mala operación, cuando el artefacto es operado con la cámara de combustión completamente llena, con grandes trozos de leña, y el ingreso de aire de combustión primaria completamente cerrado, muy diferente a la definición típica empleada en Chile, asociada principalmente al uso del tiraje, o control de ingreso de aire primario de combustión.

De todas maneras, nuevamente se destaca la gran diferencia que existe entre las emisiones obtenidas para tasas de quemado baja, respecto de las obtenidas en tasas de quemado medias o altas.

#### **Programa de mejoramiento de inventarios (EIIP), Combustión residencial de leña. EPA, 2001 [15].**

Los factores de emisión de contaminantes criterio utilizados por la EPA para la fuente combustión residencial de leña, corresponden a los reportados el año 2001 por el programa de mejoramiento de inventarios (EIIP). Estos factores de emisión fueron establecidos a partir de los límites de emisión regulados por la EPA hacia fines de la década de los 80, y fueron determinados a través de pruebas de laboratorio llevadas a cabo mediante los protocolos de certificación de calefactores, principalmente los métodos EPA-5G y EPA-5H.



Tabla 20. Factor de emisión de contaminantes criterio para combustión residencial de leña.

ID	Tipo de artefacto	MP10	NOx	CO	COVs	SO2
1	Estufas y cocinas	17,3	1,3	126,3	114,5	0,2
2	Cocinas	17,3	1,3	126,3	114,5	0,2
3	Estufas catalíticas (Fase II)	8,1	1,0	53,5	7,5	0,2
4	Estufas No Catalíticas (Fase II)	7,3	-	70,4	6,0	0,2
5	Estufas convencionales	15,3	1,4	115,4	26,5	0,2
6	Estufa - Pellets/certificada	2,1	6,9	19,7	-	0,2
7	Estufa - Pellets/exenta	4,4	-	26,1	-	-
8	Chimenea albañilería	2,8	-	74,5	-	-

1. Corresponden a FE para chimeneas y solo se recomienda su uso cuando no se cuenta con información desagregada de equipos de combustión.
2. Exento de las Normas de Desempeño de Nuevas Fuentes 1988 para estufas de leña debido a aire: combustible > 15: 1 y / o la velocidad de combustión mínimo > 5 kg / hr
6. Certificado de conformidad con el nuevo origen de Estándares de Desempeño 1988 para estufas de leña
7. Exento de las Normas de Desempeño de Nuevas Fuentes 1988 debido a aire: combustible > 35: 1.
8. Exento de las Normas de Desempeño de Nuevas Fuentes desde 1988, debido a peso > 800 kg.

## 2.3 PROPUESTA DE FACTORES DE EMISIÓN A UTILIZAR

### 2.3.1. PROPUESTA DE FACTORES DE EMISIÓN A UTILIZAR PARA MP10 Y MP2,5.

De acuerdo a lo indicado, los FE utilizados en los inventarios desarrollados previamente carecen de respaldo técnico que haga referencia a la representatividad que tendrían para su aplicación en Chile, derivando en que su aplicación ocasiona incertidumbre en los resultados obtenidos.

A partir de esta observación, se sugiere la selección de nuevos FE que reflejen de mejor manera la situación de Chile, y en particular de la comuna de Valdivia. Al respecto, y según quedó demostrado con los antecedentes presentados, en los últimos años se ha generado una base de nuevos FE, levantados específicamente para reflejar las condiciones reales que caracterizan la fuente combustión residencial en Chile. En específico, estos antecedentes han sido generados a través de mediciones efectuadas a partir del año 2010, en los Laboratorios de la Universidad Católica de Temuco, Universidad de Concepción y la empresa SERPRAM S.A. También fueron considerados algunos antecedentes reportados por el Laboratorio OMNI de EE.UU., que se obtuvieron de un servicio técnico de mediciones contratado por el Ministerio de Medio Ambiente, para la evaluación según protocolos de certificación, de 5 artefactos fabricados y/o comercializados en Chile.

La Tabla siguiente muestra los FE seleccionados para aplicar en el presente inventario, los cuales fueron escogidos a partir de los resultados presentados en la base de nuevos FE.

Tabla 21. Factores de emisión de MP10 para combustión residencial de leña.

Tipo de artefacto	Leña seca	Leña húmeda	Mala operación
Cocina a leña	7,5 <sup>1</sup>	13,9 <sup>1</sup>	33,8 <sup>2</sup>
Combustión lenta S/T	6,2 <sup>1</sup>	11,8 <sup>1</sup>	45,8 <sup>3</sup>
Combustión lenta C/T	5,2 <sup>1</sup>	11,0 <sup>1</sup>	29,5 <sup>4</sup>
Salamandra	12,7 <sup>1</sup>	28,5 <sup>1</sup>	-
Chimenea	10,1 <sup>5</sup>	28,5 <sup>6</sup>	-
Calefactor certificado	2,5 <sup>7</sup>	11,0 <sup>8</sup>	11,0 <sup>8</sup>
Nueva Tecnología	2,1 <sup>9</sup>	5,5 <sup>10</sup>	8,9 <sup>10</sup>
Calefactor a pellet	1,9 <sup>11</sup>	-	-

Fuente: Elaboración propia.

1. Corresponden a una propuesta de FE de SICAM INGENIERÍA, definida en base al análisis de los resultados obtenidos a partir del proyecto FONDEF D0811 147, ejecutado por la UCT. Se obtuvieron valores ponderados para las distintas especies utilizadas, alineados con resultados obtenidos en otros ensayos a nivel local e internacional, y coherentes con antecedentes bibliográficos internacionales en torno a la variación de emisiones según especies de leña.
2. Corresponden a una propuesta de FE de SICAM INGENIERÍA, definida en base a la experiencia desarrollada por sus profesionales, a través de mediciones realizadas *in situ*, y en laboratorio. Corresponde a una condición típica de las cocinas a leña, obtenida cuando se utiliza el horno para efectos de cocción de alimentos.
3. Corresponden a una propuesta de FE de SICAM INGENIERÍA, definida a partir del análisis de resultados presentados por el Laboratorio de Emisiones de la UCT, para un calefactor sin templador proveniente del programa de recambio de Coyhaique (previo a su chatarrización), operado con ingreso de aire completamente cerrado. El FE propuesto está en sintonía con resultados obtenidos en otros ensayos a nivel local e internacional, y coherentes con antecedentes bibliográficos internacionales en torno a la variación de emisiones según esta condición de mala operación.
4. Corresponden a una propuesta de FE de SICAM INGENIERÍA, definida en base al análisis de los resultados obtenidos a partir del proyecto FONDEF D0811 147, ejecutado por la UCT. Se obtuvieron valores ponderados para las distintas especies utilizadas, descartando aquellos valores que se comportan como *outliers*, o que no representan el consumo de leña en la zona sur del país. El valor asignado se encuentra asignado con resultados obtenidos en otros ensayos a nivel local e internacional, y coherentes con antecedentes bibliográficos internacionales en torno a la variación de emisiones según especies de leña.
5. Corresponden a una propuesta de FE de SICAM INGENIERÍA, definida en base a resultados obtenidos en Laboratorio de Emisiones de la UCT, mediante mediciones realizadas a un artefacto tipo calefactor, pero que por adaptaciones realizadas después de años de uso, se opera como artefacto de hogar abierto, sin control de aire de combustión.
6. Corresponden a una propuesta de FE de SICAM INGENIERÍA. Corresponde al valor propuesto para Salamandras, ya que se sugiere que el comportamiento es similar en las condiciones señaladas.
7. Corresponden a una propuesta de FE de SICAM INGENIERÍA, definida en base a la experiencia desarrollada en la materia, basada, los antecedentes generados a través de los procesos de certificación de la EPA, mediciones de actuales modelos de artefactos fabricados en Chile.
8. Corresponden a una propuesta de FE de SICAM INGENIERÍA. Corresponde al valor propuesto para calefactores C/T, ya que se sugiere que el comportamiento es similar en las condiciones señaladas.
9. Corresponden a una propuesta de FE de SICAM INGENIERÍA, definida a partir de resultados de medición reportados por el Laboratorio de Emisiones de la UCT para ensayos realizados a un prototipo desarrollado por la industria local, con la asistencia técnica de un organismo experto internacional y la gestión de la autoridad ambiental local (medición estufas Sirius II, Gross, para una tasa de quemado promedio de 1,4 kg/h). Un resultado similar se obtuvo para un calefactor con templador operado con un filtro catalítico de empresa ECOFILTRO, medido por el Laboratorio de Ensayo DIRIGO, acreditado por la EPA.
10. Corresponden a una propuesta de FE de SICAM INGENIERÍA, definida en base a la experiencia desarrollada en la materia, específicamente en resultados de reducción alcanzados mediante el uso de convertidores catalíticos, bajo condiciones.
11. Corresponden a una propuesta de FE de SICAM INGENIERÍA, definida a partir de resultados de medición reportados por el Laboratorio de Emisiones de la UCT para ensayos a un calefactor a pellet importado y comercializado por una empresa de Temuco, y operada con pellet producido y comercializado en Chile.



Notar que todos los FE de MP10 fueron propuestos por SICAM INGENIERÍA, en base al análisis de resultados presentados en diversos proyectos, tanto de investigación científica, y como de estudios referenciales. La principal fuente de información correspondió al proyecto FONDEF D0811147, de "Investigación y Generación de Factores de Emisión de Contaminantes Atmosféricos para Artefactos Residenciales que Combustionan Biomasa de Relevancia Nacional", desarrollado por la Universidad Católica de Temuco, y cuyos resultados fueran presentados en el presente año 2014. Este proyecto obtuvo FE para 7 especies de leña, y 5 tecnologías de combustión residencial de leña, característicos del stock nacional, utilizando variables de humedad de la leña y modos de operación del artefacto identificados como representativos de la realidad local.

No obstante lo anterior, y a pesar de la envergadura del proyecto, en términos de los objetivos planteados y los recursos utilizados, para el presente estudio no fue posible contar con una bases de datos que permitiera profundizar en el análisis de los resultados, especialmente porque el informe final del proyecto de investigación no da cuenta de ningún tipo de análisis, comentarios ni observaciones en relación a los resultados presentados, razón por la cual, estos FE no fueron utilizados directamente, sino que fueron tomados como referencia para la construcción de los FE propuestos por SICAM INGENIERÍA.

Finalmente, se determinaron los FE de MP2,5, los cuales fueron propuestos por SICAM a partir de los FE de MP10 seleccionados previamente, a los cuales se les aplicó el factor de proporcionalidad sugerido por, Chow, J.C.; Watson, J.G., 1998, que señala que el 93,1% de las emisiones de MP10 provenientes de la combustión residencial de leña, corresponden a la fracción fina de MP2,5.

Tabla 22. Factores de emisión de MP2,5<sup>1</sup> para combustión residencial de leña.

Tipo de artefacto	Leña seca	Leña húmeda	Mala operación
Cocina a leña	7,0	13,0	31,5
Combustión lenta S/T	5,8	11,0	42,6
Combustión lenta C/T	4,9	10,2	27,5
Salamandra	11,8	34,1	-
Chimenea	9,2	26,6	-
Calefactor certificado	2,3	10,2	10,2
Nueva Tecnología	2,0	5,1	8,2
Calefactor a pellet	1,8	-	-

<sup>1</sup> Se considera que el 93,1% de las emisiones de MP10 corresponden a MP2,5.

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.2. FACTORES DE EMISIÓN DE CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, COV<sub>s</sub>, HAP<sub>s</sub>

De acuerdo a lo señalado al inicio del punto anterior, el o los FE más relevantes para el desarrollo del inventario de emisiones de la comuna de Valdivia, son el MP10 y MP2,5, debido a que son precisamente estos contaminantes los que determinan la condición de zona saturada que prevalece sobre ambas comunas. No obstante lo anterior, un buen inventario de emisiones debe ser capaz de representar todos los contaminantes presente en un área de estudio. De esta manera, la presente actualización del inventario de emisiones consideró, para la fuente combustión residencial de leña, la determinaron de FE para todos los contaminantes criterio.

Las Tablas siguientes muestran los FE seleccionados para los contaminantes indicados, para su aplicación en la presente actualización del inventario de emisiones, los cuales fueron escogidos, principalmente, a partir de los resultados obtenidos en los ensayos específicos de los cuales se tomaron los FE de MP, pero también de otros ensayos de mayor representatividad para el contaminante en evaluación.

Tabla 23. Factores de emisión de CO para combustión residencial de leña.

Tipo de artefacto	Leña seca	Leña húmeda	Mala operación
Cocina a leña	305,4	444,7	1.139,7
Combustión lenta S/T	207,1	443,1	584,7
Combustión lenta C/T	129,1	238,5	400,8
Salamandra	309,9	464,1	-
Chimenea	126,3	401,0	-
Calefactor certificado	90,0	238,5	238,5
Nueva Tecnología	10,0	71,6	120,2
Calefactor a pellet		-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Factores de emisión de NO<sub>x</sub> para combustión residencial de leña.

Tipo de artefacto	Leña seca	Leña húmeda	Mala operación
Cocina a leña	2,1	2,7	2,7
Combustión lenta S/T	2,0	3,0	3,0
Combustión lenta C/T	1,9	2,0	2,0
Salamandra	7,7	3,1	-
Chimenea	1,3	1,3	-
Calefactor certificado	1,9	2,0	5,3
Nueva Tecnología	1,9	2,0	5,3
Calefactor a pellet		-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Factores de emisión de SO<sub>2</sub> para combustión residencial de leña.

Tipo de artefacto	Leña seca	Leña húmeda	Mala operación
Cocina a leña	0,2	0,2	0,2
Combustión lenta S/T	0,1	0,0	0,2
Combustión lenta C/T	0,1	0,0	0,0
Salamandra	0,2	0,2	-
Chimenea	0,2	0,2	-
Calefactor certificado	0,1	0,0	0,0
Nueva Tecnología	0,1	0,0	0,0
Calefactor a pellet		-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Factores de emisión de COVs para combustión residencial de leña.

Tipo de artefacto	Leña seca	Leña húmeda	Mala operación
Cocina a leña	114,5	363,5	1.033,2
Combustión lenta S/T	26,5	84,1	241,2
Combustión lenta C/T	26,5	84,1	241,2
Salamandra	114,5	363,5	-
Chimenea	114,5	363,5	-
Calefactor certificado	26,5	84,1	241,2
Nueva Tecnología	26,5	84,1	241,2
Calefactor a pellet		-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Factores de emisión de HAPs para combustión residencial de leña.

Tipo de artefacto	Leña seca	Leña húmeda	Mala operación
Cocina a leña	1,1	1,6	1,6
Combustión lenta S/T	0,0	16,3	16,3
Combustión lenta C/T	0,3	14,6	14,6
Salamandra	2,0	1,6	-
Chimenea	2,0	1,6	-
Calefactor certificado	0,3	14,6	14,6
Nueva Tecnología	0,3	14,6	14,6
Calefactor a pellet		-	-

Fuente: Elaboración propia

### Comentarios específicos:

**Cocinas a leña:** Se consideró pertinente seleccionar FE diferenciados según uso de leña seca, leña húmeda y mala operación. En este caso, la mala operación se asocia con las emisiones generadas cuando se utiliza el horno de la cocina (solo una fracción del tiempo), debiendo deflectar los gases a través de su contorno, bajando drásticamente la tasa de quemado.

- El proyecto FONDEF D0811147 presenta un error conceptual en la información entregada, por cuanto las cocinas a leña convencionales, difícilmente pueden regular el ingreso de aire primario de combustión. En su lugar, se regula el dámper que permite deflectar los humos, y retrasar la tasa de quemado.
- El proyecto FONDEF D0811147 no consideró FE para la operación de la cocina con el ingreso de aire primario de combustión regulado a la mitad, porque no es factible obtener regulaciones intermedias, según comentario previo.
- Los FE seleccionados para leña seca con *tiraje cerrado* (dámper) corresponden al promedio de las mediciones realizadas con diferentes especies de leña, las cuales se mantienen dentro de un margen coherentes con lo indicado por Thomas Nussbaumer en relación a las diferencias según especies de leña.
- Los FE seleccionados para leña húmeda con *tiraje cerrado* (dámper) corresponden al promedio de las mediciones realizadas con diferentes especies de leña, descartando los resultados obtenidos para pruebas con Ulmo y Canelo, por cuanto se comportan como *outliers* en relación a los otros resultados, y por cuanto no representan un consumo significativo en las zonas del sur de Chile.

**Salamandra:** Se consideró pertinente seleccionar FE diferenciados según uso de leña seca y uso de leña húmeda. La mala operación, entendida como la restricción al ingreso de aire de combustión, no es una práctica en este tipo de artefactos, ya que al igual que las cocinas a leña no dispone de un sistema hermético que permita controlar la variable de ingreso de aire primario de combustión.

- El FE seleccionado para leña seca corresponden al promedio de las mediciones realizadas con diferentes especies de leña seca y *tiraje cerrado* (dámper). Se descarta el FE obtenido para Ulmo y Canelo, por cuanto se comporta como *outliers*.
- Los FE seleccionados para leña húmeda con *tiraje cerrado* (dámper) corresponden al promedio de las mediciones realizadas con diferentes especies de leña húmeda, descartando los resultados obtenidos para pruebas con frutales, por cuanto se comportan como *outliers* en relación a los otros resultados, y por cuanto no representan un consumo significativo en las zonas del sur de Chile.

**Combustión lenta sin templador (S/T):** Se consideró pertinente seleccionar FE diferenciados según uso de leña seca, uso de leña húmeda y mala operación. En este caso, la mala operación es independiente a la calidad de la leña, y se asocia con las emisiones generadas cuando se cierra el ingreso de aire de combustión del artefacto.

- El FE seleccionado para leña seca corresponden al promedio de las mediciones realizadas con diferentes especies de leña y tiraje abierto. Se descarta el FE obtenido para frutales, por cuanto se comporta como outliers.
- El FE seleccionado para leña húmeda corresponden al promedio de las mediciones realizadas con diferentes especies de leña húmeda y tiraje abierto.
- El FE seleccionado para mala operación corresponden al resultado reportado para la medición de un calefactor sin templador proveniente del programa de recambio de calefactores de Coyhaique, obtenido para una tasa de quemado baja, en un artefacto muy precario. Corresponde al más bajo valor reportado para esta configuración. Se hace notar que las emisiones obtenidas en esta configuración son varían significativamente según la humedad de la leña (es más importante la regulación del tiraje que la humedad de la leña).

**Combustión lenta con templador (C/T):** Se consideró pertinente seleccionar FE diferenciados según uso de leña seca, uso de leña húmeda y mala operación. En este caso, la mala operación es independiente a la calidad de la leña, y se asocia con las emisiones generadas cuando se cierra el ingreso de aire de combustión del artefacto.

- El FE seleccionado para leña seca corresponden al promedio de las mediciones realizadas con diferentes especies de leña y tiraje medio.
- El FE seleccionado para leña húmeda corresponden al promedio de las mediciones realizadas con diferentes especies de leña húmeda y tiraje medio. Se descarta el FE obtenido para frutales, por cuanto se comporta como outliers.
- Los FE seleccionados para mala operación corresponden al promedio de las mediciones realizadas con diferentes especies de leña húmeda y tiraje cerrado, descartando los resultados obtenidos para pruebas con Frutales, Ulmo y Canelo, por cuanto se comportan como *outliers* en relación a los otros resultados, y por cuanto no representan un consumo significativo en las zonas del sur de Chile.

**Chimeneas y otros:** Se consideró pertinente seleccionar FE diferenciados según uso de leña seca y uso de leña húmeda. La mala operación, entendida como la restricción al ingreso de aire de combustión, no es una práctica en este tipo de artefactos, ya que no se puede regular el ingreso de aire de combustión primario por tratarse de un sistema de combustión a hogar abierto.

- El FE seleccionado para leña seca corresponden al promedio de las mediciones realizadas a un calefactor proveniente del programa de recambio de calefactores de la ciudad de Coyhaique, que por el avanzado estado de deterioro, se comportó como

un sistema de combustión abierta (una cubierta de lata, sin puerta, dámper completamente abierto), con una tasa de quemado promedio de 3,5 kg leña/hora.

- El FE seleccionado para leña húmeda corresponden al mismo reportado para salamandras bajo esta misma condición de humedad de la leña.

**Nueva tecnología (doble cámara):** Se consideró pertinente seleccionar FE diferenciados según uso de leña seca y uso de leña húmeda. En este caso la mala operación, entendida como la restricción al ingreso de aire de combustión, no es una práctica factible, ya que este tipo de artefactos no permitiría al usuario restringir el aire de combustión.

- El FE seleccionado para leña seca corresponden al promedio de las mediciones realizadas con diferentes especies de leña y tiraje medio.
- El FE seleccionado para leña seca corresponden al promedio de las mediciones realizadas a un calefactor de doble cámara efectiva, desarrollado en el marco del programa de mejoramiento tecnológico impulsado por el MMA, en asociatividad con la industria local, la Universidad Católica de Temuco y apoyo profesional externo.
- El FE seleccionado para leña húmeda corresponden al mismo reportado para combustión lenta con templador, bajo esta misma condición de humedad de la leña, asumiendo que esta configuración afecta de manera similar en ambas tecnologías.

**Calefactor a pellets:** Se consideró pertinente seleccionar un FE único, representativo de la operación del artefacto. El FE corresponde al reportado tras la medición de un calefactor a pellet medido en el Laboratorio de Emisiones de la UCT.

Notar que la principal fuente de información correspondió al proyecto FONDEF D081114 de "Investigación y Generación de Factores de Emisión de Contaminantes Atmosféricos para Artefactos Residenciales que Combustionan Biomasa de Relevancia Nacional", desarrollado por la Universidad Católica de Temuco, y cuyos resultados fueran presentados en el presente año 2014. Este proyecto obtuvo FE para 7 especies de leña, y 5 tecnologías de combustión residencial de leña, característicos del stock nacional, utilizando variables de humedad de la leña y modos de operación del artefacto identificados como representativos de la realidad local.

No obstante lo anterior, y a pesar de la envergadura del proyecto FONDEF, en términos de los objetivos planteados y los recursos utilizados, a la fecha aún no se pudo contar con una bases de datos que permitiera profundizar en el análisis de los resultados, especialmente porque el informe final del estudio no da cuenta de ningún tipo de análisis, comentarios ni observaciones en relación a los resultados presentados.

### 3 REFERENCIAS

- [1] USACH, 2014. Actualización y sistematización del inventario de contaminantes atmosféricos en la región Metropolitana. Año base 2012. Informe final.
- [2] DICTUC, 2008. Estudio diagnóstico plan de gestión de calidad del aire VI región. Informe final.
- [3] AMBIOSIS, 2009. Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos y Definición de Área de Influencia de las Emisiones que Causan el Efecto de Saturación por MP10 en la Ciudad de TALCA. Año base 2006. Informe final.
- [4] UCT, 2018. Actualización inventario de emisiones atmosféricas para fuentes areales y difusas en el área de Concepción Metropolitano. Año base 2005. Informe final.
- [5] CENMA, 2010. Actualización del inventario de emisiones de Temuco y Padre Las Casas. Año base 2009. Informe final.
- [6] ENVIROMODELING, 2009. Análisis de emisiones atmosféricas en Coyhaique. Informe final.
- [7] DICTUC, 2008. Actualización del inventario de emisiones de Temuco y Padre Las Casas. Año base 2005. Informe final.
- [8] CENMA, 2002. Inventario de emisiones de Temuco y Padre Las Casas. Año base 2000. Informe Final.
- [9] VERENUM, 2006. Results from Tests on Wood Stoves and revised Recomendations for Emission Limit Values for Chile. Reporte para CONAMA.
- [10] UCT, 2014. Proyecto FONDEF "Investigación y Generación de Factores de Emisión de Contaminantes Atmosféricos para Artefactos Residenciales que Combustionan Biomasa de Relevancia Nacional". Informe técnico.
- [11] UCT, 2011. Mediciones de emisiones de MP generadas por artefactos de combustión residencial de leña provenientes del programa de recambio de la ciudad de Coyhaique. Informe técnico.
- [12] CONAMA-UCT, 2012. Mediciones realizadas en el marco del programa de mejoramiento tecnológico de artefactos, desarrollado en convenio por CONAMA y Universidad Católica de Temuco.



- [13] UDEC, 2012. Medición de material particulado, monóxido de carbono y eficiencia térmica para diferentes estufas del mercado nacional. Informe final.
- [14] SERPRAM, 2006. Medición de artefactos de uso residencial que operan con biomasa para apoyar procesos regulatorios ambientales. Reporte para CONAMA.
- [15] EPA, 2001. Emissions Inventory Improvement Program (EIIP), Residential Wood Combustion.







07.41

1471

**11. Para los equipos que utilizan LEÑA, PELLETS o BRIQUETAS como combustible: INDICAR CARACTERISTICAS**

Completar la tabla de acuerdo a las alternativas dadas en la Pauta.

**SI NO UTILIZA LEÑA, PASAR DIRECTO A ÍTEM E**

	11.1 TIPO	11.2 MARCA	11.3 TAMAÑO	11.4 UBICACIÓN	11.5 USO	11.6 ANTIGÜEDAD (AÑOS)	11.7 ESTADO	11.8 Día	11.9. Noche
1°									
2°									
3°									

**PAUTA:**

	11.1 TIPO	11.3 TAMAÑO	11.4 UBICACIÓN	11.5 USO	11.7. ESTADO	11.8 TIRAJE
1.	Combustión lenta C/T	1. Pequeña	1. Cocina	1. Calefacción	1. Buena	1. Abierto
2.	Combustión lenta S/T	2. Mediana	2. Living	2. Cocinar	2. Regular	2. Medio
3.	Cocina a leña	3. Grande	3. Dormitorio	3. Ambos	3. Mala	3. Cerrado
4.	Salamandra			4. Otro, especificar		
5.	Chimenea					
6.	Estufa a pellet					
7.	Otra					

11.9 En caso de que usen un artefacto tipo **COCINA**, ¿Cuenta con serpentín para el agua caliente?

SI  NO

11.10 En caso de que usen un artefacto tipo **COCINA**, ¿Cuenta con cocina a gas aparte de la cocina a leña?

SI  NO

**12. Para los equipos que utilizan LEÑA, PELLETS O BRIQUETAS como combustible: INDICAR PERFIL DE FUNCIONAMIENTO**

TIPO	12.1 Meses Fríos (Marcar con X los meses de uso)						12.2 Lunes – Viernes (Indicar hora de encendido - hora de apagado)		12.3 Sábado, Domingo y Festivos (Indicar hora de encendido - hora de apagado)	
	A	M	J	J	A	S	1° ENCENDIDO	2° ENCENDIDO	1° ENCENDIDO	2° ENCENDIDO
1°							-	-	-	-
2°							-	-	-	-
3°							-	-	-	-

TIPO	12.4 Meses Cálidos (Marcar con X los meses de uso)						12.5 Lunes – Viernes (Indicar hora de encendido - hora de apagado)		12.6 Sábado, Domingo y Festivos (Indicar hora de encendido - hora de apagado)	
	O	N	D	E	F	M	1° ENCENDIDO	2° ENCENDIDO	1° ENCENDIDO	2° ENCENDIDO
1°							-	-	-	-
2°							-	-	-	-
3°							-	-	-	-

**13. Respecto a la intensidad de uso, favor clasificar el consumo de LEÑA, PELLETS O BRIQUETAS considerando lo siguiente** (Llenar con los códigos que se señalan al costado)

USO	13.1 Meses Fríos						13.2 Meses Cálidos					
	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Calefacción												
Cocina												

- 0. = Sin Consumo
- 1. = Consumo bajo
- 2. = Consumo moderado
- 3. = Consumo alto

**D) ÍTEM CONSUMO RESIDENCIAL DE LEÑA, PELLETS O BRIQUETAS Y FORMA DE ABASTECIMIENTO**

En este ítem indicar qué tipo de leña utiliza para calefacción y para cocina, su forma de abastecimiento, humedad y frecuencia de compra.

14. Por favor completar la siguiente tabla, indicando el volumen de leña usado el año recién pasado y el costo unitario, según unidad de medida de leña consumida.

	14.1 Formato	14.2 Cantidad	14.3 Valor (\$)	14.4 Abastecimiento	14.5 Frecuencia
1°					
2°					
3°					

15. En síntesis, Consumo total de leña anual  
CANTIDAD: \_\_\_\_\_ m3  
(NO COMPLETAR)

Formato:

1. m3 estéreo
2. m3 trozado
3. Saco picada
4. Carretón
5. Canasto
6. Carretilla
7. Bolsa (Pellet)
8. Bolsa (Briquetas)

Abastecimiento:

1. Comercio Formal
2. Informal camión/picaduría
3. Explotación personal
4. Leña certificada
5. Otra \_\_\_\_\_

Frecuencia de compra

- Una vez año
- Dos veces al año
- Tres veces al año
4. Otra: \_\_\_\_\_

16. Del total de LEÑA utilizada para calefacción y cocina, indicar lo siguiente:

Tipo	16.1 Porcentaje	16.2 Humedad	16.3 Almacenamiento
Nativa			
Exótica			
Otra			

- 16.2: Estado  
 1 = Seca,  
 2 = Húmeda,  
 3 = Semi húmeda
- 16.3: Almacenamiento  
 1. Bajo techo  
 2. Al aire libre  
 3. Al aire libre pero cubierta

17. Respecto al uso de LEÑA que realiza en su hogar.

17.1 Jerarquizar las 2 principales opciones del porqué usa leña

1. Precio  
 2. Calidad de calefacción  
 3. Costumbre  
 4. Otro
- 17.1.1 1° Opción   
 17.1.2 2° opción

17.2 ¿Indicar si recibe boleta por la compra de leña?

1. Siempre  
 2. A veces  
 3. Nunca  
 4. No Aplica

17.3 En caso que la respuesta sea NUNCA, marque el principal motivo.

1. El comerciante es informal y no entrega boleta  
 2. El comprador no solicita la boleta  
 3. El comprador es indiferente a exigir boleta

E) ÍTEM CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS Y EFICIENCIA TÉRMICA DE LA VIVIENDA

18. ¿De cuántos pisos es su vivienda? Indique m<sup>2</sup>

Respuesta guiada si es necesario

- 18.1 Un piso m<sup>2</sup>   
 18.2 Dos pisos m<sup>2</sup>   
 18.3 1° piso m<sup>2</sup>   
 18.4 2° piso m<sup>2</sup>   
 18.5 Total Viv. m<sup>2</sup>

19. ¿Qué material constructivo tiene su vivienda para el piso?

Si son dos o más materialidades presentes en la vivienda categorizar su procedencia, comenzando desde el 1

1. Piso sobre losa  
 2. Piso Entramado  
 3. Otro, Especificar
- 19.1 Primario   
 19.2 Secundario

20. ¿Qué material constructivo tiene su vivienda para el cielo raso o techumbre? Jerarquizar con primario y secundario si posee más de uno

1. Cielo de madera (OSB, masisa, otro)  
 2. Cielo metálico  
 3. Losa hormigón armado  
 4. Otro, especificar: \_\_\_\_\_
- 20.1. Primario   
 20.2 Secundario

21. ¿Qué material constructivo tiene su vivienda para los muros exteriores? Jerarquizar los dos más relevantes, con 1 y 2 según predominancia

1. Albañilería  
 2. Hormigón armado  
 3. Cubierta de Madera  
 4. Cubierta Metálica  
 5. Otra, especificar \_\_\_\_\_
- 21.1 Primario   
 21.2 Secundario

22. Por favor completar la siguiente tabla respecto al número de ventanas de su vivienda, según descripción respectiva.

Tipo Ventana	22.1 Cantidad (N° de ventanas)		
	22.2 Grande	22.3 Mediana	22.4 Pequeño
1°			
2°			
3°			
4°			
TOTAL			

TIPO VENTANA

- Marco de madera, vidrio simple
- Marco metálico, vidrio simple
- Marco PVC, vidrio simple
- Marco de madera, DVH (Termopanel)
- Marco de PVC, DVH (Termopanel)
- Marco Metálico, DVH (Termopanel)

Ejemplos de Tamaño:

- Grande: Ventanal (de cielo a suelo o al menos ¾ de muro de altura)  
 Mediana: Medio muro de altura  
 Pequeña: Menos de medio muro de altura

23. Respecto a la infiltración de aire en su vivienda, con qué nota usted evaluaría esta situación (Respuesta guiada) (Marcar solo una evaluación por cada elemento)

	Nada	Poca	Mediana	Alta
23.1 Ventanas	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
23.2 Puertas	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
23.3 Instalaciones	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Ejemplo:

Nada: No se siente corriente de aire entre las rendijas del cada elemento.

Alta: Se siente con claridad la corriente de aire entre las rendijas de cada elemento

1473

24. Respecto al mejoramiento térmico de su vivienda

24.1 ¿Ha recibido subsidio de aislación del MINVU?  SI  NO

24.2 ¿Ha realizado mantención o mejoramiento térmico de su vivienda en los últimos cinco años?  SI  NO

24.3 Actualmente ¿considera necesaria una mejora térmica de su vivienda?  SI  NO

Dónde:

<input type="checkbox"/>	24.2.1 Techos	<input type="checkbox"/>	24.3.1 Techos
<input type="checkbox"/>	24.2.2 Muros	<input type="checkbox"/>	24.3.2 Muros
<input type="checkbox"/>	24.2.3 Pisos	<input type="checkbox"/>	24.3.3 Pisos
<input type="checkbox"/>	24.2.4 Sellado	<input type="checkbox"/>	24.3.4 Sellado

Si respondió SI

24.1.1 ¿Se encuentra ejecutado?

24.1.2 ¿Adjudicado, pero no ejecutado?

25. ¿Con qué frecuencia ventila su vivienda al día? Indicar según condición climática del día:

25.1. Día cálido  a) No ventila  b) Ventila

25.2. Día frío  a) No ventila  b) Ventila

Horas	Minutos
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>

**F) ÍTEM PERCEPCIÓN / PROYECCIÓN DE CONSUMO Y USO DE ARTEFACTOS (RESPONDER SOLO SI USA LEÑA)**

26. Considera que su actual calefactor, y su nivel de consumo de leña o pellets brindan confortabilidad al interior de la vivienda

1. SI

2. NO

27. Si su respuesta es NO, ¿cuál cree que es la principal causa?

27.1. Mala aislación térmica de la vivienda

27.2. Artefacto poco eficiente

27.3. Leña de mala calidad

27.4. Otro \_\_\_\_\_

28. ¿Qué tan efectivas considera las siguientes medidas para mejorar la calidad del aire?, evalúe de 1 a 7 considerando 1 muy poco efectiva y 7 muy efectiva.

28.1. Restricción de uso de calefactores y cocinas a leña en días de mala calidad del aire

28.2. Aplicación de programas de recambio de calefactores

28.3. Programa de aislación térmica de viviendas

28.4. Restricción de humos visibles

29. ¿Estaría dispuesto a participar de un programa de recambio de calefactores? Cabe señalar que "recambio" es el reemplazo de su equipo actual de leña por otro más eficiente y menos contaminante, y que considera un copago por parte del beneficiario (entre \$80.000 y \$120.000 aprox.). El equipo actual será retirado del hogar.

1. SI

2. NO

Observaciones del encuestador:

---

Una vez finalizada la encuesta, solicite a la persona encuestada un número de teléfono para fines de supervisión:

Teléfono:

Nombre del encuestador: _____	Hora de término: _____
Fecha: _____	
Lugar donde se encuestó: _____	

**USO EXCLUSIVO SUPERVISOR** Fecha revisión: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Nombre Supervisor: \_\_\_\_\_

1. Todos los campos están completos	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
2. Letra legible	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
3. Datos son concordantes	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
4. Pasa a digitalización	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>

FIRMA SUPERVISOR



**MANUAL DEL ENCUESTADOR**

ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN RESIDENCIAL EN RELACIÓN  
AL USO DE LEÑA

Año 2014

1474

## PRESENTACIÓN

El presente manual se ha confeccionado en el marco de la Aplicación de la "Encuesta de Caracterización residencial en relación al Uso de Leña", en el marco del desarrollo del Inventario de Emisiones Atmosféricas de Valdivia, año base 2013, encargado por la SEREMI del Medio Ambiente de la Región de Los Ríos y ejecutado por la empresa SICAM INGENIERÍA LTDA.

Equipo Técnico del Proyecto : Cristian Varela Bruce  
Sergio Dávila Riquelme  
Pamela Rebolledo Bovone  
Jasmine Bastidas Muñoz  
Marcelo Hernández Gutiérrez

Contraparte Técnica : SEREMI del Medio Ambiente Araucanía

Elaboración Manual : Jasmine Bastidas Muñoz

Encargado General Aplicación Encuesta : Sergio Dávila Riquelme

SICAM INGENIERÍA LTDA.  
Prieto Sur #965, Temuco  
(45) 2647070  
[www.sicam.cl](http://www.sicam.cl)

SEREMI DEL MEDIO AMBIENTE REGIÓN DE LOS RÍOS  
Carlos Anwandter #466  
(45) 2361610  
<http://www.mma.gob.cl>

## 6. CONTACTOS IMPORTANTES PARA EL ENCUESTADOR

### COORDINADOR GENERAL: SERGIO DÁVILA RIQUELME

Teléfono: (09) 61590721

Email: [sdavila@sicam.cl](mailto:sdavila@sicam.cl)

### COORDINADOR DE TERRENO: MARCELO HERNÁNDEZ GUTIÉRREZ

Teléfono: (09) 61701248

Email: [mhernandez@sicam.cl](mailto:mhernandez@sicam.cl)

### SICAM INGENIERÍA:

Teléfono: (045) 2647070

Dirección: Prieto Sur #965, Temuco  
Temuco

### CONTRAPARTE TÉCNICA: SEREMI DEL MEDIO AMBIENTE REGIÓN DE LOS RÍOS

#### Contacto:

JEAN PAUL PINAUD

Profesional Asuntos Atmosféricos

Teléfono: (45) 2361603

Sitio web: [www.mma.gob.cl](http://www.mma.gob.cl)

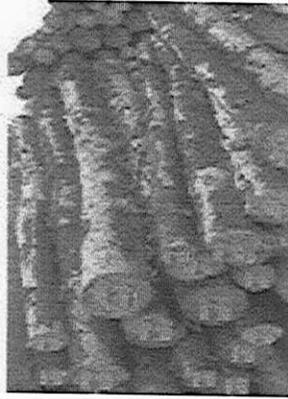
1475

### 5.2. Formato de la leña

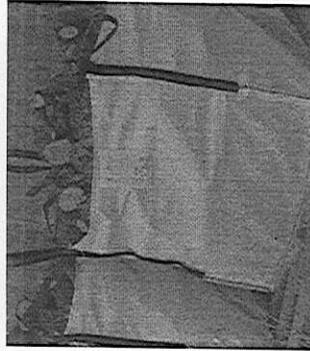
Metro cúbico trozado



Metro cúbico sin trozar



Metro cúbico granel



### 5.3. Especies de Leña

Nativa:

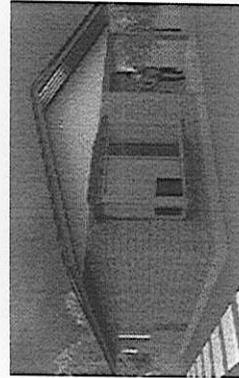
- Hualle
- Coigüe
- Ulmo
- Luma, otras.

Exótica:

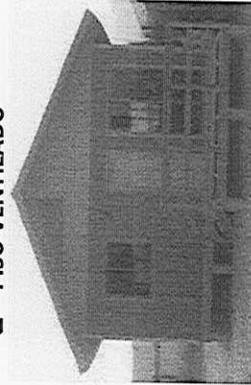
- Álamo
- Aromo
- Eucalipto

### 5.4. Materiales de construcción

PISO RADIER



PISO VENTILADO



## ÍNDICE

1. OBJETIVO DE LA ENCUESTA	3
2. EQUIPO DE TRABAJO EN TERRENO	3
3. METARIALES Y FUNCIONES DEL ENCUESTADOR	4
4. CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS	5
4.1. Conductas no admitidas	5
4.2. ¿Quién debe responder la encuesta en la vivienda?	5
4.3. Forma de Presentación del Encuestador	5
5. PAUTAS PARA PREGUNTAS ESPECÍFICAS	6
5.1. Tipos de Artefactos que encontrarás en terreno	6
5.2. Formato de la leña	9
5.3. Especies de Leña	9
5.4. Materiales de construcción	9
6. CONTACTOS IMPORTANTES PARA EL ENCUESTADOR	10

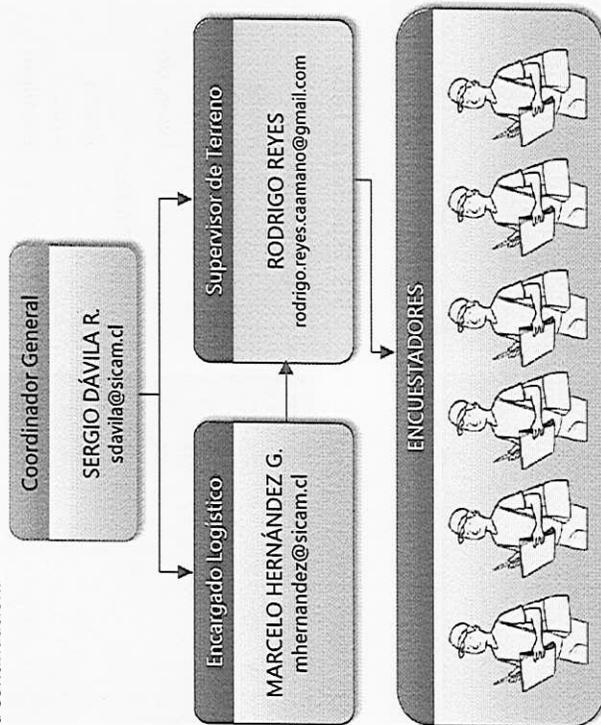
1476

## 1. OBJETIVO DE LA ENCUESTA

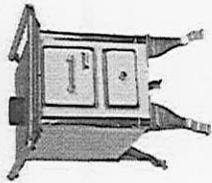
El objetivo de central de la encuesta es determinar el consumo residencial de leña en la ciudad Valdivia, mediante la identificación de variables que inciden en la demanda de energía para efectos de calefacción y cocción de alimentos, tales como el comportamiento térmico de la vivienda, tecnologías de combustión de leña disponibles, y hábitos de uso, entre otros. Todo esto, para contar con antecedentes que permitan proyectar la implementación de políticas públicas que vayan en beneficio directo de la calidad de vida de los habitantes de esta ciudad.

## 2. EQUIPO DE TRABAJO EN TERRENO

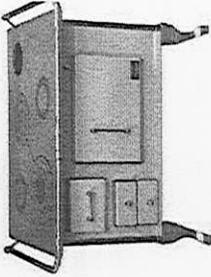
Para la ejecución de las actividades de terreno se dispondrá del equipo que se presenta a continuación:



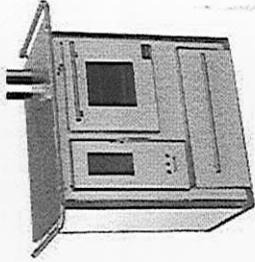
## ❑ COCINA A LEÑA



Pequeña



Mediana

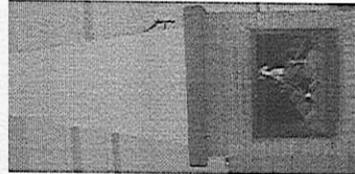
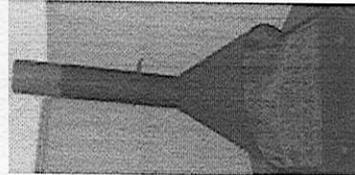


Grande

### Características:

- Tienen un diseño característico que, a pesar de sus variedades, se diferencian claramente de otro tipo de artefactos de combustión.
- Poseen una plancha de fierro fundido en la parte superior, y en algunos casos un horno. Además de 3 puertas que sirven para: realizar la carga de leña, permitir el ingreso de aire primario, y finalmente la puerta correspondiente al depósito de cenizas.
- Poseen un tiraje que es utilizado para restringir el flujo directo de los gases de combustión desde la cámara hacia la chimenea, obligándolos a circular alrededor del horno y luego salir por el cañón.

## ❑ CHIMENEA

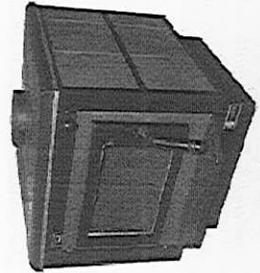


### Características:

- La característica principal es que no posee puerta, dejando expuesta la cámara de combustión (Hogar abierto).
- Se pueden encontrar empotradas o libre dentro de la vivienda.
- No poseen ningún sistema de control de ingreso de aire.

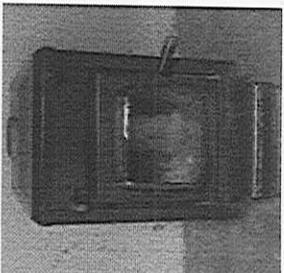
Solo Grandes

**Combustión Lenta S/T (Sin templador)**



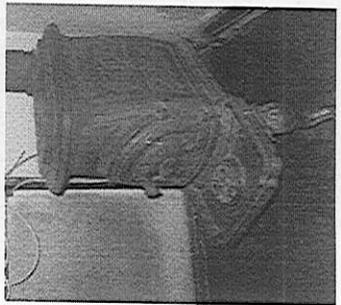
**Características:**

- Su principal característica es que poseen solamente un ingreso de aire, el cual es regulado a través de una manilla en la parte frontal del artefacto.
- Luego, la construcción de su cámara de combustión es en fierro fundido y/o acero, sin presencia de ladrillos refractarios, así como tampoco de un Templador. Poseen vidrio templado (pyrex).
- En algunos casos poseen un regulador de tiraje, controlado por una segunda manilla en la parte frontal del artefacto, destinado a restringir el flujo directo de gases desde la cámara de combustión hacia la chimenea.
- Su cubierta es normalmente reconocible debido a su construcción en fierro fundido, con recubierta lateral de cerámica.



Tamaño definido de acuerdo Clasificación anterior

**Salamandra**



**Características:**

- Tienen un diseño característico que, a pesar de sus variedades, se diferencian claramente de otro tipo de artefactos de combustión.
- No poseen ningún sistema de ingreso de aire secundario.
- Comúnmente se agrega un dispositivo en el cañón que restringe el flujo de gases (humos).
- Los materiales más comunes de construcción son fierro fundido.

**Solo pequeña**

**3. CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS GENERALES**

Las funciones que debes cumplir como encuestador/a son de mucha importancia y su estricto cumplimiento y seguimiento determinará que la información recolectada sea de alta calidad y refleje la realidad de las variables en estudio.

**Materiales del Encuestador:**

MATERIAL	¿CÓMO USARLO?
MANUAL DEL ENCUESTADOR	Como guía de Consulta para el desarrollo de la encuesta.
CREDECIAL	Para que puedas identificarte y acreditarte como Encuestador/a. Debe estar siempre visible.
FICHAS PARA ENCUESTA	Para recoger la información de los hogares.
CARTOGRAFÍA	Como material del grupo, para identificar la ubicación geográfica en la cual desempeñará su trabajo.
CARPETA	Como protección para el material de la encuesta.

**Forma de ubicarse en terreno:**



- Al llegar a la manzana asignada debes ubicarte en la esquina indicada en el mapa asignado.
- Desde la esquina debes avanzar en el sentido contrario del reloj.
- Debes visitar y encuestar la tercera casa, contada desde la esquina.
- Debes continuar avanzando hasta haber encuestado tres casas de cada manzana.

**ES IMPORTANTE QUE:**

- Antes de la encuesta verifiques que cuentas con todo el material que te será asignado.
- Antes de salir a terreno ubiques en el plano o mapa asignado, la manzana seleccionada a fin de que tomes referencias para el desplazamiento y orientación.
- Después de la encuesta entregues los cuestionarios debidamente llenados a tu supervisor de terreno, además de informar respecto al desarrollo de tu trabajo, e informar cualquier inconveniente que pueda surgir en las actividades de terreno.

#### 4. CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

##### 4.1. Conductas no admitidas

**IMPORTANTE:** NO debes incurrir en:

- Suponer o inventar respuestas
- Delegar funciones a personas no autorizadas para realizar la encuesta
- Divulgar información obtenida
- Discutir con las personas a encuestar
- Hacer preguntas ajenas a la encuesta
- Prometer beneficios resultantes de la encuesta
- Presentarse inapropiadamente a realizar el trabajo

##### 4.2. ¿Quién debe responder la encuesta en la vivienda?

- La información debe ser proporcionada por un **residente habitual del hogar**. Jefe de hogar o una persona mayor de 18 años perteneciente al hogar.
- No se debe aceptar información de:** Personas con discapacidad mental, vecinos, menores de edad o personas en estado de ebriedad.

##### 4.3. Forma de Presentación del Encuestador

Sugerencia de presentación

**Señor (a):**

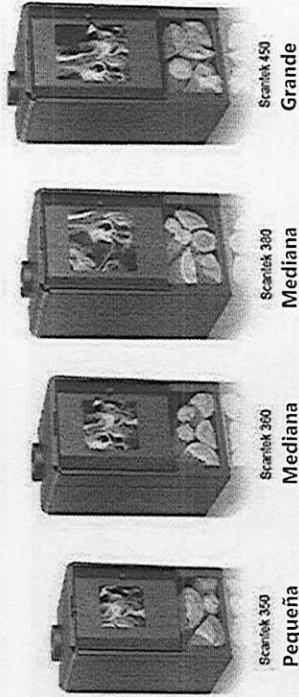
*Mi nombre es: \_\_\_\_\_, vengo de parte de la SEREMI del Medio Ambiente, porque su vivienda ha sido seleccionada para realizar una encuesta sobre el consumo de leña en las viviendas de Valdivia. Esta es mi credencial. Es importante que responda ya que esta información servirá para ayudar a la descontaminación del aire de la ciudad.*

Si el hogar se niega a colaborar, trata de explicar, convincentemente, que la información solicitada es absolutamente anónima y se usará solo con fines estadísticos, además solo a través de la colaboración de las viviendas seleccionadas al azar será posible obtener la información necesaria para tomar medidas para el futuro plan de descontaminación de Valdivia. Además puedes entregar el N° telefónico de la SEREMI del Medio Ambiente para que puedan corroborar que se está ejecutando la encuesta.

#### 5. PAUTAS PARA PREGUNTAS ESPECÍFICAS

##### 5.1. Tipos de Artefactos que encontrarás en terreno

- Combustión Lenta C/T (Con templador)**

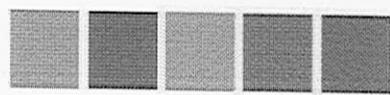


##### Características:

- Poseen una entrada de aire primario, controlada comúnmente por una manilla en la parte frontal del artefacto.
- Su principal característica es la presencia de un dispositivo llamado Templador en la parte superior de la cámara de combustión, que divide la caja de fuego separándola en dos secciones, permitiendo una segunda cámara. Y por otro lado, la presencia de ladrillos refractarios alrededor de la cámara de combustión.
- Poseen un ingreso de aire secundario, ubicado comúnmente en la parte posterior del artefacto, y que ingresa a la cámara a través de perforaciones en el Templador.
- Los materiales más comunes de construcción son acero, y poseen vidrio templado (pyrex).

# CAPITULO II

## Fuentes Puntuales



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1 ANTECEDENTES GENERALES DE FUENTES PUNTUALES .....	3
1.1 FUENTE PUNTUAL .....	6
2 REVISIÓN METODOLÓGICA FUENTES PUNTUALES .....	7
2.1 METODOLOGÍAS INTERNACIONALES EN RELACIÓN A LAS FUENTES PUNTUALES .....	7
2.2 METODOLOGÍAS NACIONALES PARA ESTIMACIÓN DE EMISIONES RELACIONADAS A LAS FUENTES PUNTUALES .....	9
2.3 METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE FUENTES PUNTUALES A UTILIZAR EN EL INVENTARIO DE VALDIVIA, AÑO BASE 2013 .....	11
2.3.1 REVISIÓN DE INFORMACIÓN DISPONIBLE .....	12
2.3.2 METODOLOGÍA GENERAL .....	12
2.3.3 CÁLCULO DE EMISIONES DESDE FUENTES CON INFORMACIÓN ISOCINÉTICA Y/O GASES .....	13
2.3.4 CÁLCULO DE EMISIONES DESDE FUENTES SIN INFORMACIÓN ISOCINÉTICA Y/O GASES .....	14
2.3.5 IDENTIFICACIÓN E INCORPORACIÓN DE FUENTES NUEVAS .....	14
2.3.6 METODOLOGÍA DE CAMPO .....	15
2.3.7 METODOLOGÍA POR FUENTE EMISORA .....	17
2.3.7.1 Fuentes de Combustión .....	17
2.3.7.2 Fuentes de Procesos con Combustión y sin Combustión .....	17
3 FACTORES DE EMISIÓN ASOCIADOS A LAS FUENTES PUNTUALES A UTILIZAR EN EL INVENTARIO DE VALDIVIA AÑO BASE 2013 .....	18
4 ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE LAS FUENTES PUNTUALES .....	21
4.1 CALDERAS INDUSTRIALES .....	23
4.2 CALDERAS DE CALEFACCIÓN .....	26
4.3 ANALISIS RESUMEN NIVELES DE ACTIVIDAD FUENTES DE COMBUSTIÓN EXTERNA .....	35
4.4 EQUIPOS ELECTRÓGENOS .....	38
4.5 FUENTES DE PROCESO .....	38
4.5 ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR EMPRESA (CALDERAS INDUSTRIALES) .....	39
4.6 ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR CALDERAS DE CALEFACCION .....	42
4.7 ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR PROCESO .....	44
4.7 ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR FUENTES DE COMBUSTION .....	45
4.8 RESUMEN EMISIONES .....	47
5 CONCLUSIONES .....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Priorización de Opciones de Estimación de Emisiones.....	8
Tabla 2. Jerarquización de opciones para estimación de emisiones. ....	13
Tabla 3. Categorías de Fuentes Incorporadas en Inventario de Valdivia. ....	14
Tabla 4. Información a recabar en terreno. ....	16
Tabla 5. Factores de Emisión para Calderas Industriales.....	18
Tabla 6. Factores de Emisión para Calderas de Calefacción .....	18
Tabla 7. Factores de Emisión para Grupos Electrógenos .....	19
Tabla 8. Factores de Emisión para Procesos Industriales Seleccionados .....	19
Tabla 9. Abreviaturas para Familias de Fuentes Emisoras .....	21
Tabla 10. Rubros Catastrados por el Equipo Consultor .....	21
Tabla 11. Número de Calderas de Industriales por Industria .....	23
Tabla 12. Niveles de Actividad para empresas que utilizan Leña.....	24
Tabla 13. Niveles de Actividad para empresas que utilizan Biomasa. ....	24
Tabla 14. Niveles de Actividad para empresas que utilizan Carbón. ....	24
Tabla 15. Niveles de Actividad para empresas que utilizan Gas Licuado .....	25
Tabla 16. Niveles de Actividad para empresas que utilizan Petróleo Diesel .....	25
Tabla 17. Niveles de Actividad por tipo de combustible para calderas Industriales .....	25
Tabla 18. Número de Calderas de Calefacción por sector .....	26
Tabla 19. Nivel de Actividad para calderas de Calefacción para el sector Edificios .....	27
Tabla 20. Nivel de Actividad para calderas de Calefacción para el sector Industrial .....	28
Tabla 21. Nivel de Actividad para calderas de Calefacción para el sector Est. Educativas.....	29
Tabla 22. Nivel de Actividad para calderas de Calefacción para el sector Inst. Públicas .....	30
Tabla 23. Nivel de Actividad para calderas de Calefacción para el sector Inst. Salud .....	31
Tabla 24. Nivel de Actividad para calderas de Calefacción para el sector Hoteles, Hostales y Cabañas	32
Tabla 25. Nivel de Actividad para calderas de Calefacción para el sector Otras .....	34
Tabla 26. Nivel de Actividad para Hornos Panaderos .....	35
Tabla 27. Nivel de Actividad para calderas de Calefacción para Distintos Sectores Catastrados .....	36
Tabla 28. Nivel de Actividad para calderas de Calefacción para el sector Otras .....	37
Tabla 29. Niveles de Actividad Equipos Electrógenos .....	38
Tabla 30. Emisiones para Calderas Industriales.....	39
Tabla 31. Emisiones para Procesos Industriales.....	44
Tabla 32. Emisiones para Fuentes de Combustión .....	45
Tabla 33. Estimación de emisiones para Fuentes Puntuales, Comuna de Valdivia .....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujo metodológico para levantamiento de información en fuentes estacionarias puntuales.....	11
Figura 2. Participación porcentual de fuentes por sub-categoría.....	22
Figura 3. Fuentes de información para Inventario de Fuentes Puntuales .....	23
Figura 4. Distribución Espacial Fuentes Puntuales Industriales Comuna de Valdivia.....	26
Figura 5. Distribución Espacial Fuentes Puntuales Edificios Comuna de Valdivia.....	28
Figura 6. Distribución Espacial Fuentes Puntuales Centros Educativos Comuna de Valdivia.....	30
Figura 7. Distribución Espacial Fuentes Puntuales Instituciones Públicas Comuna de Valdivia.....	31
Figura 8. Distribución Espacial Fuentes Puntuales Instituciones de Salud Comuna de Valdivia.....	32
Figura 9. Distribución Espacial Fuentes Puntuales Hoteles y Hospedajes Comuna de Valdivia.....	33
Figura 10. Distribución Espacial Fuentes Puntuales Categoría "Otras" Comuna de Valdivia .....	34
Figura 11. Participación porcentual del consumo de leña para fuentes puntuales, Valdivia.....	36
Figura 12. Ranking de los mayores consumidores de Leña de las Fuentes Puntuales, Valdivia.....	37
Figura 13. Emisiones MP10 Calderas Industriales .....	40
Figura 14. Emisiones MP2.5 Calderas Industriales .....	41
Figura 15. Emisiones SO <sub>2</sub> Calderas Industriales .....	41
Figura 16. Emisiones MP 10 Calderas de Calefacción Edificios .....	42
Figura 17. Emisiones MP 10 Calderas de Calefacción Educación .....	43
Figura 18. Emisiones MP 10 Calderas de Calefacción Hoteles y Hospedajes .....	43
Figura 19. Emisiones MP10 Fuentes de Combustión.....	44
Figura 20. Emisiones MP10 Fuentes de Combustión .....	46
Figura 21. Emisiones MP2.5 Fuentes de Combustión .....	46
Figura 22. Emisiones MP10 por tipología de fuente .....	48
Figura 23. Emisiones MP2.5 por tipología de fuente.....	48
Figura 24. Emisiones SO <sub>2</sub> por tipología de fuente .....	49
Figura 25. Emisiones NO <sub>x</sub> por tipología de fuente.....	49
Figura 26. Emisiones CO por tipología de fuente.....	50
Figura 27. Emisiones COVs por tipología de fuente.....	50

## ABREVIACIONES Y ACRÓNIMOS

BC	Black Carbon
CARB	California Air Resources Board
CEMS	Continuos Emission Monitoring System
CH4	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CONAMA	Comisión Nacional del Medio Ambiente
COVNM	Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos
COVs	Compuestos Orgánicos Volátiles
D.S.	Decreto Supremo
EEA	Environmental European Agency
EIIP	Emission Inventory Improvement Program
EPA	Environmental Protection Agency
F.E.	Factor de Emisión
GLP	Gas licuado de petróleo
GN	Gas Natural
HAP	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
MP	Material Particulado
MP2.5	Material particulado de diámetro $\leq 2.5 \mu\text{m}$
MP10	Material particulado de diámetro $\leq 10 \mu\text{m}$
N.A.	Nivel de Actividad
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
NEI	National Emission Inventory
NH3	Amoniaco
NOx	Óxidos de Nitrógeno
NPI	National Pollutant Inventory
O <sub>3</sub>	Ozono Troposférico
OC	Organic Carbon
PDA	Plan de Descontaminación Atmosférica
PEMS	Predictive Emission Monitoring System
PTAS	Planta de tratamiento de aguas servidas
ROG	Gases Orgánicos Reactivos (por sus siglas en inglés)
SOx	Óxidos de Azufre
TCEQ	Texas Commission on Environmental Quality
TNMHC	Hidrocarburos totales no Metánicos (por sus siglas en inglés)
TOG	Total Organic Gases
TSP	Partículas totales suspendidas (por sus siglas en inglés)

## 1 ANTECEDENTES GENERALES DE FUENTES PUNTUALES

### 1.1 FUENTE PUNTUAL

El Clean Air Act de la EPA define una fuente puntual como una corriente confinada a una chimenea, ducto, tubería, u otro desde donde compuestos químicos podrían ser emitidos a la atmósfera<sup>1</sup>. Por su parte el MMA a través del RETC define fuente puntual (estacionaria) a cualquier actividad establecida en un solo lugar o área y que desarrolle operaciones o procesos industriales, emitiendo contaminantes a la atmósfera (MMA, 2011). Es así que una fuentes puntual puede ser individualizada y claramente identificada (NPI v 5.2, 2012), siendo fundamental esta característica para diferenciarla de las fuentes areales (Radian, 1997), facilitando su control y estimación. Las fuentes puntuales se encuentran ampliamente dispersas en las zonas urbanas y sus inmediaciones, variando de manera significativa de acuerdo a su tamaño y nivel de emisión (EPA, 1997). Las fuentes puntuales consideran desde plantas termoeléctricas hasta calderas en edificios residenciales, incluyendo procesos industriales, que pudieran o no considerar combustión dentro de su operación.

Respecto al tamaño, la normativa nacional define Fuente Puntual o fija como aquella cuyo caudal o flujo volumétrico de emisión es igual o superior a 1000 m<sup>3</sup>/hora, bajo condiciones estándar y medida a plena carga, definiéndose además las Fuentes fijas grupales como aquellas cuyo caudal o flujo volumétrico de emisión es inferior a 1000 m<sup>3</sup>/hora, bajo condiciones estándar y medido a plena carga (D.S. N°4, 1992). También se definen las fuentes con una emisión mayor a 1 Ton/día como megafuentes (D.S. N°1583,1992)

En Chile existe una gran variedad de fuentes puntuales, siendo de gran relevancia las termoeléctricas, fundiciones y celulosas, entre otras. Dentro de la comuna de Valdivia, no existen las llamadas megafuentes, encontrándose fundamentalmente industrias asociadas al rubro alimenticio y de la madera, además de calderas de calefacción y agua caliente.

La comuna de Valdivia no cuenta a la fecha con inventarios de emisiones, siendo este el primer catastro que busca levantar información referente a niveles de actividad de las diversas fuentes presentes en el área de estudio.

#### Normativas Aplicables

Las normativas a las que se ven expuestas las fuentes puntuales en Valdivia, y las futuras regulaciones, establecen los lineamientos en cuanto a información básica requerida, límites y control de emisiones para establecimientos industriales, comerciales y domiciliarios.

A continuación se presenta un resumen de las principales, medidas, límites y normativas a las que actualmente se ven afectas las Fuentes Puntuales en la comuna de Valdivia.

- D.S. 138/2005

Establece la obligación de declarar las emisiones contaminantes atmosféricas, para las Fuentes Fijas en todo el territorio nacional, esto a través de información detallada de niveles de actividad, tipos de fuente, combustibles, descripción de procesos, entre otros antecedentes.

<sup>1</sup> <http://www.epa.gov/airquality/community/glossary.html>

- PDA de Valdivia

Establecerá la obligación de ceñirse a un límite de emisión y requerirá realizar mediciones a fuentes seleccionadas en función del tipo de combustible y potencia. Cabe destacar que dicho Plan está en formulación a la fecha de edición del presente informe.

## 2 REVISIÓN METODOLÓGICA FUENTES PUNTUALES

### 2.1 METODOLOGÍAS INTERNACIONALES EN RELACIÓN A LAS FUENTES PUNTUALES

La revisión metodológica internacional, consideró las normativas y procedimientos de diversas fuentes de información a nivel internacional, como es el caso de la EPA y TCEQ (Estados Unidos), NPI (Australia), EEA (Union Europea) y el Global Atmospheric Pollution Forum que reporta la realidad de Suecia, Noruega, Brasil y Asia (China, India)

En términos generales, cada agencia involucrada en el desarrollo del inventario de emisiones de Fuentes Puntuales de cada país, considera un procedimiento general que incorpora a los emisores dentro del proceso, existiendo un control posterior de la información. El sistema que se utiliza es un símil del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes de Chile, Cada Agencia considera un set de factores de emisión que dan cuenta de la realidad local, aunque la fuente principal de consulta mundial referente a Factores de Emisión sigue siendo el AP-42 y WEbFIRE de la EPA. Si bien la fuente con la que se consigue la información es en varios aspectos estándar para cada agencia, existen protocolos y exigencias propias de cada país, algunos ejemplos se muestran a continuación:

- Canada - National Pollutant Release Inventory (Environment Canada)
- England and Wales - Environment Agency Pollution Inventory
- France - Registre Francais des Emissions Pollutantes
- Japan - 2001 PRTR Data Report (Ministry of Economy, Trade and Industry and Ministry of the Environment)
- Mexico - Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC)
- Netherlands - Data Warehouse Emission Registration (in Dutch)
- Scotland - Scottish Pollutant Release Inventory
- Sweden - Swedish Pollutant Release and Transfer Register (Swedish Environmental Protection Agency)
- Switzerland - Swiss Pollutant Emission Register (SAEFL) - Scorecard (Environmental Defense Fund)
- US - Toxic Release Inventory (USEPA)

Australia a través del NPI, promueve la utilización de una plataforma web, que contiene diversas guías para la estimación de emisiones para cada fuente emisora, existiendo límites

mínimos para acceder a realizar la declaración<sup>2</sup>. La plataforma es de acceso público y se actualiza regularmente. Gran parte de la información contenida en las guías específicas, hacen referencia a los factores de la EPA. Por su parte la Unión Europea a través del EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook, establece los lineamientos básicos para la declaración de emisiones en un sistema online, utilizando un enfoque asociado a niveles de estimación de emisiones, de acuerdo a la siguiente estructura:

- Nivel 1: Relación directa entre el nivel de actividad y factor de emisión.
- Nivel 2: Tienen un enfoque similar al primero, pero utilizando factores de emisión específicos para cada país.
- Nivel 3: Utiliza información propia de la planta, o modelos de emisiones específicos para la fuente.

Por su parte la EPA, a través del EIIP, establece un sistema mediante el cual, cada emisor debe estimar sus emisiones, de acuerdo a protocolos detallados, pudiendo involucrar desde estimaciones directas a través de los factores de emisión del WebFire, o la medición directa de contaminantes, la elección de uno u otro está vinculada al tipo de fuente, y disponibilidad de información. Existen además diversas iniciativas llevadas a cabo por algunos estados, donde se establecen normativas de emisión más estrictas además de protocolos de medición propios. El TCEQ de Texas, prioriza las opciones de estimación de emisiones, estableciéndose los métodos de monitoreo continuos como requisito básico para algunas fuentes, ver tabla 1.

Tabla 1. Priorización de Opciones de Estimación de Emisiones

Orden de Preferencia	Tipo de Metodología	Descripción
1	CEMS	Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones
2	PEMS	Métodos de medición predictivos
3	Medición en la chimenea	Medición puntual en chimenea Isocinética y de Gases
4	Factores de emisión específicos para el equipo	Factor de emisión informado por el fabricante
5	Factor de Emisión	De Acuerdo a AP-42
6	Balance de Materia	Registros de Ingreso y Salidas de sustancias.
7	Estimación	A partir de información de una fuente de características similares

Fuente: Adaptado de la referencia TCEQ, 2013 (Emissions Inventory Guidelines, Texas Commission on environmental quality)

<sup>2</sup> <http://www.npi.gov.au/reporting>

En otros documentos realizados por la EPA, que tienen directa relación con el desarrollo del inventario de emisiones nacional, se establece que los factores de emisión deben ser utilizados siempre y cuando no esté disponible un método de cuantificación de emisiones mejor<sup>3</sup> destacando los CEMS y PEMS como las alternativas ideales para la cuantificación de emisiones a nivel de chimenea.

Cabe destacar que la EPA realiza un inventario nacional cada 3 años, donde se consolida la información de emisiones entregada por cada estado bajo el NEI, considerándose además información de los países limítrofes de Estados Unidos, como es el caso de Canadá y México. Finalmente el Global Atmospheric pollution Forum a través del Air Pollutant Inventory Manual, establece ciertos lineamientos para la estimación de emisiones de fuentes puntuales, siendo una fuente de información altamente valiosa, puesto que realiza una revisión de las principales metodologías disponibles a nivel mundial (revisiones y actualizaciones anuales) para este tipo de fuentes, dejando además de manifiesto la importancia de la implementación de los registros de emisiones en cada país y la aplicación de metodologías estandarizadas para el desarrollo de inventarios de emisiones.

## 2.2 METODOLOGÍAS NACIONALES PARA ESTIMACIÓN DE EMISIONES RELACIONADAS A LAS FUENTES PUNTUALES

Para el desarrollo de la revisión metodológica desde fuentes de información nacional, se revisaron los siguientes documentos:

- Actualización del Inventario de Emisiones de Temuco y Padre Las Casas, año base 2009, CENMA, 2010.
- Actualización del Inventario de Emisiones de Temuco y Padre Las Casas, año base 2005, DICTUC 2008.
- Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos para las Regiones V, IV y IX de Chile, año base 200, CENMA 2001.
- Inventario de Emisiones Atmosféricas Ciudades de Chillán y Los Ángeles VIII Región, año base 2005, UCT 2008.
- Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Calidad del Aire VI Región, año base 2006, DICTUC 2008.
- Análisis de Emisiones Atmosféricas en Coyhaique, año base 2008, Environmodeling 2009
- Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos y Definición de Área de Influencia de las Emisiones que Causan el Efecto de Saturación por MP10 en la Ciudad de TALCA, año base 2006, Ambiosis 2009.

<sup>3</sup> Emissions Inventory Guidance for Ozone [& PM] NAAQS Implementation and Regional Haze Regulations 4/11/2014 DRAFT),

- Generación de antecedentes técnicos y económicos para la elaboración de una norma de emisión para calderas y procesos industriales con combustión en el sector industrial, comercial y residencial, SISTAM 2014.
- Evaluación de Medidas para Reducir la Contaminación Atmosférica en Complejos Industriales y Grandes Fuentes del Gran Concepción, año base 2008, UDT y PROTERM 2011.

Seleccionados de acuerdo a su relevancia para el área de estudio, el año de elaboración y el vínculo metodológico con las fuentes a caracterizar.

De manera general, todos los inventarios en cuestión han utilizado como fuente principal de información el RETC, debido a la gran cantidad de declaraciones disponibles, con detalles de combustibles utilizados y niveles de actividad, sin embargo muchas veces dicha fuente de información carece de un adecuado control de calidad, por tanto las emisiones podrían verse sobreestimadas o subestimadas, en función del grado de desviación que suponga el valor del nivel de actividad real. Además se han incorporado las visitas a las fuentes como parte del proceso de actualización tanto de la información contenida en las declaraciones de emisiones, como en los registros de inventarios anteriores.

Un enfoque metodológico adecuado de acuerdo a los estándares de la EPA, supondría la incorporación de valores medidos en la fuente, ya sea de manera continua o discreta, a través de CEMS, Ensayos isocinéticos para MP y monitoreo de gases en chimenea, tomando en consideración para estos dos últimos los perfiles de funcionamiento reales. En este punto cobra relevancia el estudio de Evaluación de Medidas para Reducir la Contaminación Atmosférica en Complejos Industriales de Concepción, desarrollado por la UDT de la Universidad de Concepción, puesto que incorpora la medición isocinética y de gases como fuente de información más relevante a la hora de asignar la emisión a un procesos con combustión, de acuerdo al siguiente protocolo:

- 1) Mediciones Isocinéticas oficiales entregadas a la Autoridad Sanitaria
- 2) Mediciones Continuas de las fuentes entregadas a la Autoridad Sanitaria
- 3) Información del RETC en el marco del DS 138/05
- 4) Cálculos teóricos a partir de FE y NA declarado.

Priorizando para la asignación de tamaños de MP, los análisis granulométricos específicos, sobre los cálculos teóricos. Lo que se ve afianzado, cuando la información disponible tiene este grado de especificidad.

Es importante mencionar en este punto que el Protocolo de CEMS actualmente se solicita a Termoeléctricas en el país, de acuerdo a la resolución exenta N°57 que aprueba el "Protocolo para Validación de Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones (CEMS) en Centrales Termoeléctricas" (Superintendencia del Medio Ambiente).

De acuerdo a antecedentes provistos en las bases de datos entregadas para la comuna de Valdivia, se han incorporado mediciones isocinéticas y de gases, considerándose como la mejor fuente de información disponible.

Respecto a la incorporación de perfiles temporales y georreferenciación de las fuentes, se ha podido verificar que en la mayoría de los inventarios no se cuenta con la información, salvo

en algunos estudios que tenían como fin último la modelación de contaminantes. En este punto es importante destacar que las emisiones correctamente temporalizadas y espacializadas permiten un entendimiento de los problemas locales de contaminación, en función de los perfiles mensuales y/o diarios, al hacer una sinergia con las demás fuentes emisoras.

### 2.3 METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE FUENTES PUNTALES A UTILIZAR EN EL INVENTARIO DE VALDIVIA, AÑO BASE 2013

A continuación se presenta el proceso metodológico general a aplicar, para la actualización del inventario de Valdivia, aquí se describen las principales metodologías a ser llevadas a cabo y métodos de estimación relacionados, considerando las revisiones metodológicas internacionales y nacionales

El procedimiento metodológico utilizado en función de los aportes metodológicos de las realidades internacionales y nacionales para la estimación y actualización de las emisiones de las Fuentes Puntuales fijas (ver figura 1).

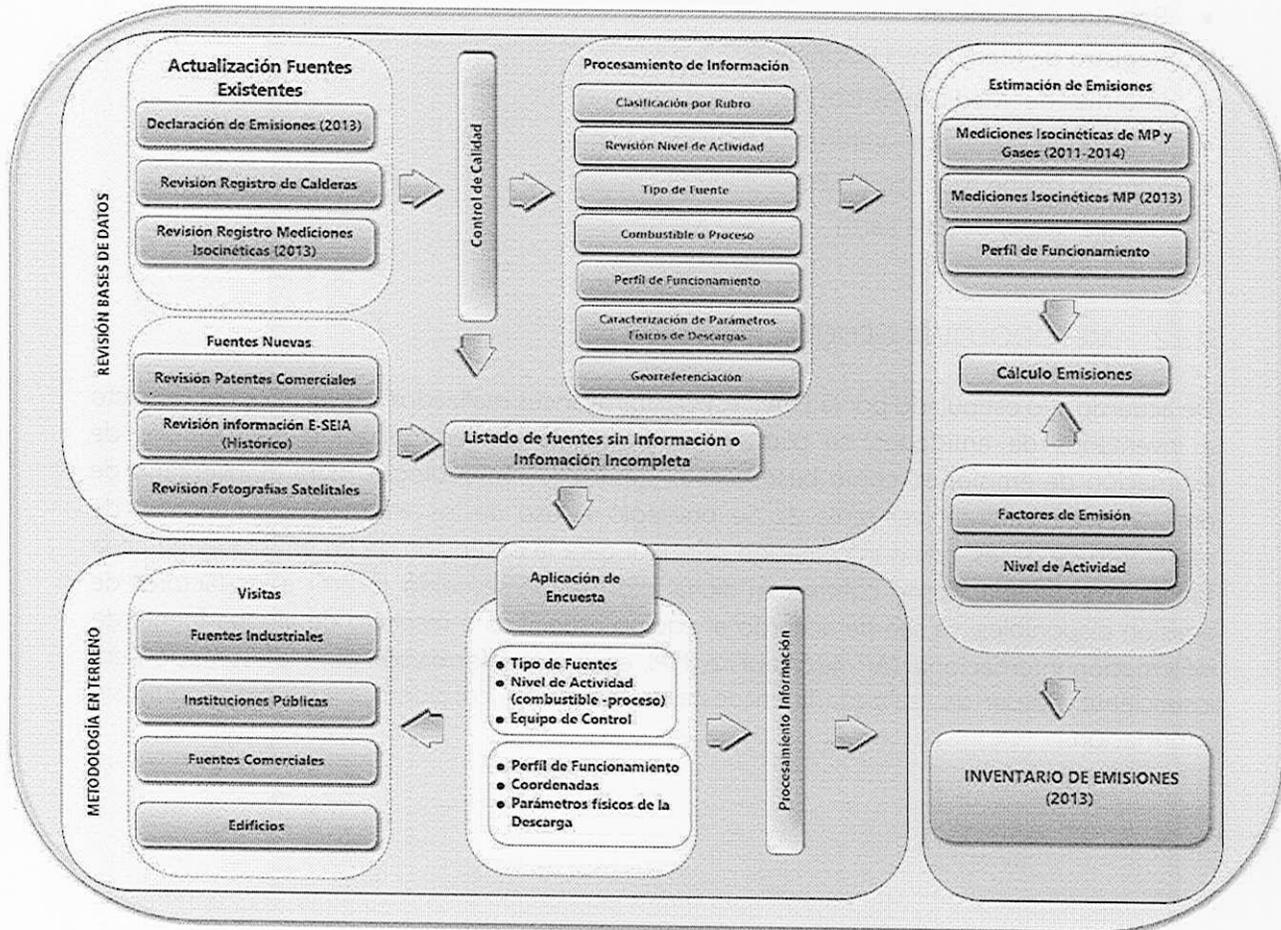


Figura 1. Flujo metodológico para levantamiento de información en fuentes estacionarias puntuales.

Donde se destacan las distintas etapas que contemplan dos procesos generales 1) Mediante la revisión de la información disponible por parte de la Seremi de Medio Ambiente y Salud de la región de Los Ríos, 2) La realización de terrenos a las fuentes que posean información incompleta o no estén catastradas en las bases de datos. Y 3) La Estimación de Emisiones.

### 2.3.1 REVISIÓN DE INFORMACIÓN DISPONIBLE

Con el fin de catastrar e incorporar nuevas fuentes a la información contenidas en las bases de datos del RETC de la comuna de Valdivia, se realizó la revisión de la siguiente información disponible:

- Declaración de emisiones en el marco del DS 138/05 (2009-2013).
- Guía Para la Estimación de Fuentes Fijas y Móviles del RETC.
- Registro de Calderas
- Registro de Mediciones Isocinéticas
- Informes de Mediciones Isocinéticas
- Patentes Comerciales –Valdivia (2013)
- Registro online histórico E-SEIA
- Google Maps, Google Earth

### 2.3.2 METODOLOGÍA GENERAL

De acuerdo a lo estipulado por la EPA, TCEQ y los avances realizados a nivel nacional respecto a inventarios de emisiones, se planteó un protocolo de jerarquización de métodos de estimación de emisiones, como base para el desarrollo metodológico para el inventario de emisiones de Valdivia (ver tabla 2). Se privilegió el uso de los informes isocinéticos y de monitoreo de gases, como información principal para la obtención de las emisiones de cada fuente inventariada, de no contar con dicha información se debió recurrir a los factores de emisión disponibles, ya sea de acuerdo al equipo específico o respecto de alguna fuente de información internacional (AP-42/WebFire, NPI, etc.), si la información para la estimación era insuficiente a pesar de realizada la encuesta en terreno, se consideró a las fuentes como sin información.

Tabla 2. Jerarquización de opciones para estimación de emisiones.

Categoría	Sub-Categoría	Rubro
1	Medición en la chimenea	Medición puntual en chimenea Isocinética y de Gases
2	Factores de emisión específicos para el equipo	Factor de emisión informado por el fabricante
3	Factor de Emisión	De Acuerdo a AP-42
4	Balance de Materia	Registros de Ingreso y Salidas de sustancias.

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.3 CÁLCULO DE EMISIONES DESDE FUENTES CON INFORMACIÓN ISOCINÉTICA Y/O GASES

Las Fuentes que contaban con un informe de mediciones isocinéticas y/o gases, fueron incluidas directamente en la estimación de emisiones, previa verificación de la correcta información de los datos de medición.

La fórmula general para el cálculo de la emisión a partir de una medición isocinética es la siguiente

$$E = EM \times PF$$

Ecuación 1

Donde:

E : Emisión (Kg/año)

EM : Emisión Medida (kg/hr)

PF : Perfil de Funcionamiento de la Fuente (hr/año)

### 2.3.4 CÁLCULO DE EMISIONES DESDE FUENTES SIN INFORMACIÓN ISOCINÉTICA Y/O GASES

Aquellas fuentes que no poseían mediciones y contaban con datos de emisión erróneos o incompletos, fueron recalculados utilizando como base la definición de los combustibles empleados, según el tipo y cantidad reportada por la industria, y los controles existentes (de estar disponibles), junto con los factores de emisión correspondientes a los procesos y el nivel de operación llevado a cabo en cada fuente emisora. Los factores de emisión utilizados disponen de la información de incertidumbre asociada a su aplicación, además de la fuente de información.

La ecuación general a utilizar para el cálculo de las fuentes puntuales mediante factor de emisión es la siguiente:

$$E = NA \times FE \times \left(1 - \% \frac{EF_t}{100}\right) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- E : Emisión
- NA : Nivel de Actividad
- FE : Factor de Emisión
- EF<sub>t</sub> : % Eficiencia total del Equipo de Control

### 2.3.5 IDENTIFICACIÓN E INCORPORACIÓN DE FUENTES NUEVAS.

Para la incorporación de fuentes nuevas, se utilizó como protocolo general la inclusión de algunos rubros claves que pudieran estar presentes en la zona de estudio, a partir de información previa y el conocimiento propio del área. Las fuentes fueron las siguientes:

Tabla 3. Categorías de Fuentes Incorporadas en Inventario de Valdivia.

Categoría	Sub-Categoría	Rubro
Combustión	Combustión Externa	Caldera Industrial
	Puntual	Caldera de Calefacción
	Combustión Interna	Grupo Electrógeno
Procesos	Industria de la Madera y Papel	Fabricación de Artículos y Muebles
		Fabricación de Madera Elaborada
	Industria Alimentaria y Agropecuaria	Panaderías
		Faenamiento de Animales
		Procesamiento de Granos
		Fabricación de Cecinas Ahumadas

		Otras industrias de Alimentos
	Industria de Productos Minerales	Fabricación de Hormigón y Extracción de Áridos
		Fabricación de Mezclas de Asfalto
		Fabricación de Ladrillos
	Industria Metalúrgica Secundaria	Productos de Hierro y Acero
Evaporativas	Evaporativas Puntuales	Fabricación de Artículos Plásticos
		Industria de Artes Gráficas
		Impregnación de Madera
		Fabricación de Espumas
		Fabricación de Zapatos

Fuente: Elaboración Propia

Además mediante el análisis de las imágenes aéreas de google earth y google maps, sumado al análisis mediante Street View se pudieron identificar diversas fuentes, muchas de las cuales no estaban presentes en las bases del RETC, por tanto se incorporaron en las visitas a terreno.

### 2.3.6 METODOLOGÍA DE CAMPO

Para las fuentes que no pasaron el control de calidad de la información, ya sea porque no presentaban información en la declaración de emisiones, por no tener disponibles los niveles de actividad, o presentar alguna otra omisión relevante tanto para el cálculo, como para la caracterización de la misma, fueron visitadas directamente a fin de aplicar una encuesta que permitiera clarificar los puntos anteriormente señalados. De esta manera la metodología de campo consistió en un programa de visitas a las empresas que contaban con las fuentes tipificadas como estacionarias puntuales, ya sean calderas industriales, de calefacción, procesos industriales, hornos de panadería, entre otros. La información levantada en terreno corresponde a la detallada en la tabla 4.

Tabla 4. Información a recabar en terreno.

ÍTEM	INDICADOR
Información del Establecimiento	Nombre
	RUT
	Fono
	Dirección
	Comuna
	Coordenadas
	Altura desde el nivel del mar
Datos de la Fuente	Tipo de Caldera
	Fabricante
	Modelo
	Año Fabricación
	Potencia
	Presión
	Perfil de Funcionamiento (Meses-Días-Horas) Cuenta con Estimación de Emisiones (Medición Isocinética)
Datos del Combustible (1 ...n)	Tipo de Combustible
	Consumo
	Porcentaje de Humedad
	Estado certificación
	Proveedor
	Procedencia
Datos de la Descarga	Altura y Diámetro de la Chimenea
	Velocidad de Salida de los Gases
	Temperatura de los Gases
	Altura desde la Fuente a la descarga
Equipos de Control	Tipo de Equipo
	Año de Instalación
	% de Abatimiento (teórico/real)

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.7 METODOLOGÍA POR FUENTE EMISORA

A continuación se presentan las metodologías específicas para cada fuente a incorporada en el inventario de emisiones de Valdivia.

#### 2.3.7.1 Fuentes de Combustión

Una de las principales fuentes de emisión de acuerdo a la realidad presente en ciudades del sur de Chile con una actividad industrial reducida, corresponde a las fuentes de combustión, estas se dividen en combustión interna y externa, siendo esta última subdividida en calderas industriales y de calefacción. En Valdivia las calderas de calefacción son las que priman, estando asociadas en gran medida a los edificios residenciales y colegios, sin embargo las fuentes más relevantes en función de su emisión, corresponden a las calderas de tipo industrial, puesto que tanto la envergadura como los requerimientos de combustible son superiores para este tipo de fuentes. Los equipos electrógenos por su parte Tienen perfiles de funcionamiento limitados y se asocian fundamentalmente al respaldo ante cortes en el suministro eléctrico, Aun cuando se catastró la utilización de equipos de mayor envergadura para ser utilizados en horario punta, es por esta razón que sus emisiones tienden a ser mucho menores comparadas con las fuentes de combustión externa.

Respecto a las emisiones de este tipo de fuentes, variarán en función del tipo de tecnología de combustión, el combustible utilizado y la potencia de la caldera, además de la inclusión de equipos de control, para el caso de las calderas industriales.

#### 2.3.7.2 Fuentes de Procesos con Combustión y sin Combustión

De manera general las fuentes de proceso, se vinculan a áreas productivas variadas y sus niveles de actividad usualmente vienen dados en función de la materia prima que procesan y no del combustible que se quema. En el área de estudio existen algunas fuentes de proceso vinculadas a la producción de madera, procesamiento de granos y elaboración de alimentos. Existen además algunas fuentes asociadas a procesos sin combustión, como el mezclado de asfalto, producción de concreto y chancado de rocas, todos ellos aportan a las emisiones fugitivas y se relacionan principalmente con la generación de MP grueso.

Cabe destacar que las emisiones provenientes de las fuentes asociadas al manejo de áridos, fueron calculadas directamente, fundamentalmente porque pueden ser individualizadas en el área de estudio.

### 3 FACTORES DE EMISIÓN ASOCIADOS A LAS FUENTES PUNTALES A UTILIZAR EN EL INVENTARIO DE VALDIVIA AÑO BASE 2013

A continuación se Presentan algunos FE seleccionados, que serán utilizados para el cálculo de emisiones de fuentes puntuales, se han considerado FE para Calderas Industriales, Calderas de Calefacción, Equipos Electrónicos y algunos procesos con y sin combustión, que representan la realidad del área de estudio. Los factores de Emisión Utilizados corresponden en su mayoría a los disponibles en el AP-42 de la EPA.

Tabla 5. Factores de Emisión para Calderas Industriales

Rubro	Combustible	Unidad	MP10	MP2.5	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	COVs
Caldera Industrial*  >100 Millones Btu/hr	Gas Natural	Ton/Ton	0,0002	NE	0,0000	0,0063	0,0019	0,0001
	Corteza/Corteza y Madera Húmeda	Ton/Ton	0,0023	0,0019	0,0010	0,0001	0,0027	0,0001
	Madera Seca	Ton/Ton	0,0029	0,0025	0,0039	0,0002	0,0048	0,0001
	Madera Húmeda	Ton/Ton	0,0013	0,0011	0,0010	0,0001	0,0027	0,0001
	Carbón bituminoso	Ton/Ton	0,0094	0,0030	NA	0,0110	0,0003	0,00003
	Carbón antracita	Ton/Ton	0,0094	0,0030	NA	0,0060	0,0003	0,00003
	Diesel N°2	Ton/Ton	0,00003	0,00003	0,0170	0,0029	0,0006	0,00003
	Diesel N°4	kg/m3	0,4707	0,1210	17,0400	5,6400	0,6000	0,0302
	Diesel N°5	Ton/Ton	0,0075	0,0007	0,0178	0,0059	0,0006	0,0002
	Diesel N°6	Ton/Ton	0,0073	0,0048	0,0175	0,0058	0,0006	0,0002
	Gas Licuado	Ton/Ton	0,0172	NE	0,0035	0,3232	0,1810	0,0237
	Aceite Residual	Ton/Ton	0,0001	NE	NA	0,0002	0,0007	0,0001

Fuente: AP-42 EPA

Tabla 6. Factores de Emisión para Calderas de Calefacción

Rubro	Combustible	Unidad	MP10	MP2.5	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	COVs
Caldera Calefacción*  <100 Millones Btu/hr	Gas Natural	Ton/Ton	0,0002	NE	0,0000	0,0023	0,0019	0,0001
	Corteza/Corteza y Madera Húmeda	Ton/Ton	0,0023	0,0019	0,0010	0,0001	0,0027	0,0001
	Madera Seca	Ton/Ton	0,0029	0,0025	0,0039	0,0002	0,0048	0,0001
	Madera Húmeda	Ton/Ton	0,0013	0,0011	0,0010	0,0001	0,0027	0,0001
	Carbón bituminoso	Ton/Ton	0,0094	0,0030	NA	0,0110	0,0003	0,0000
	Carbón antracita	Ton/Ton	0,0094	0,0030	NA	0,0060	0,0003	0,0000
	Diesel N°2	Ton/Ton	0,0002	0,0001	0,0203	0,0079	0,0007	0,0001
	Diesel N°4	kg/m3	0,6204	0,2304	18	6,6000	0,6000	0,0667
	Diesel N°5	Ton/Ton	0,0006	0,0002	0,019732	0,0025	0,0006	0,0002
	Diesel N°6	Ton/Ton	0,0053	0,0020	0,019293	0,0024	0,0006	0,0002
	Gas Licuado	Ton/Ton	0,0407	NE	0,008178	0,7627	0,4271	0,0559
	Aceite Residual	Ton/Ton	0,0001	NE	NA	0,0002	0,0007	0,0001

Fuente: AP-42 EPA

Tabla 7. Factores de Emisión para Grupos Electrógenos

Rubro	Combustible	Unidad	MP10	MP2.5	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	COVs
Grupo Electrógeno	Petróleo N°2	Ton/Ton	0,001	0,0009	0,0196	0,0622	0,0165	0,0017
	Gasolina	Ton/Ton	0,100	NE	0,0840	1,6300	62,7000	2,1000
	Petróleo N°4	Ton/Ton	0,310	NE	0,2900	4,4100	0,9500	0,3100
	Petróleo N°5	Ton/Ton	0,310	NE	0,2900	4,4100	0,9500	0,3100
	Petróleo N°6	Ton/Ton	0,310	NE	0,2900	4,4100	0,9500	0,3100

Fuente: AP-42

Tabla 8. Factores de Emisión para Procesos Industriales Seleccionados

Proceso	Sub-Proceso	Referencia	Unidad	MP10	MP2.5	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>	COVN M
Confección de Espuma		EMEP/EEA	g/kg espuma							60
Confección de Zapatos		EMEP/EEA	Kg/par de zapatos							0,045
Curtido de Cuero		EMEP/EEA	g/kg Cuero							0,68
Chancado de Rocas	Chancado Terciario	AP-42	Ton/Ton Roca	1,20E-06						
	Chancado de Finos	AP-42	Ton/Ton Roca	2,70E-07	5,00E-05					
	Tamizado	AP-42	Ton/Ton Roca	4,30E-06						
	Tamizado de Finos	AP-42	Kg/Ton Roca	3,60E-02						
	Cinta Transportadora	AP-42	Ton/Ton Roca	5,50E-07						
	Chancado de Impacto en Húmedo	AP-42	Kg/Ton Roca	4,00E-05						
	Cargado de Camiones	AP-42	Kg/Ton Roca	8,00E-06						
	Cargado de Camiones (Transportador-Chancado)	AP-42	Kg/Ton Roca	5,00E-05	3,30E-03					
	Producción de Concreto	Transferencia de Agregados a Bins	AP-42	n/yd <sup>3</sup>	9,90E-04					
	Transferencia Arena a Bins	AP-42	n/yd <sup>3</sup>							
	Cargado de Cemento en Silos	AP-42	n/yd <sup>3</sup>	3,90E-01						
	Cargado de Tolva	AP-42	n/yd <sup>3</sup>	2,40E-03						
	Cargado del Mezclador (Mezclado Centralizado)	AP-42	n/yd <sup>3</sup>	7,80E-02						
	Cargado de Camiones	AP-42	n/yd <sup>3</sup>	1,50E-01						

Fabricación de Ladrillos	Horno de proceso Húmedo	AP-42	Kg/Ton ladrillo	16				
	Proceso largo de horno seco	AP-42	Kg/Ton ladrillo	8,40E-02				
Fabricación de Madera Elaborada	Prensado de Paneles	AP-42	Kg/m <sup>3</sup>	4,16E-03		5,72E-02		
	Secador rotatorio	AP-42	Kg/ton	0,345		0,34		
Procesamiento de Granos	Secador de Bandeja	AP-42	Ton/ton grano	3				
	Cargado de Camiones	AP-42	Ton/ton grano	3,50E-02	7,80E-03			

Fuente: Elaboración propia a partir de AP-42 y EMEP/EEA

#### 4 ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE LAS FUENTES PUNTUALES

A continuación, se presentan los resultados asociados a la estimación de emisiones de contaminantes atmosféricos, obtenidos mediante la aplicación de las opciones presentadas en la tabla 2, considerando la revisión de la información de las fuentes entregadas por parte de la SEREMI de Los Ríos y del levantamiento de información en terreno.

De manera general se ha asignado una abreviación estándar, de acuerdo a los protocolos establecidos en el RETC, dichas abreviaturas se utiliza también en las bases de datos que respaldan la información presentada a continuación.

Tabla 9. Abreviaturas para Familias de Fuentes Emisoras

Proceso	Abreviación
Caldera de Calefacción	CA
Caldera Industrial	IN
Equipo Electrónico	EL
Proceso con Combustión	PC
Proceso sin Combustión	PS
Horno Panadero	PA
Evaporativas	EV

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la metodología planteada, la cantidad de fuentes que fue posible catastrar se presentan en La siguiente tabla

Tabla 10. Rubros Catastrados por el Equipo Consultor

Categoría	Sub-Categoría	Rubro	Cantidad Fuentes	%
Combustión	Combustión Externa Puntual	Caldera Industrial	27	9,1%
		Caldera de Calefacción	173	58,1%
	Combustión Interna	Equipo Electrónico	28	9,4%
Procesos	Industria de la Madera y Papel	Fabricación de Artículos y Muebles	0	0,0%
		Fabricación de Madera Elaborada	0	0,0%
		Fábrica de Chips de Madera	12	4,0%
	Industria Alimentaria y Agropecuaria	Panaderías	12	4,0%
		Alimentos	10	3,4%
		Faenamiento de Animales	0	0,0%
		Procesamiento de Granos	5	1,7%
	Industria de Productos Minerales	Fabricación de Hormigón y Extracción de Áridos	24	8,1%
		Fabricación de Ladrillos	1	0,3%
	Industria Metalúrgica Secundaria	Productos de Hierro y Acero	5	1,7%

Evaporativas	Evaporativas Puntuales	Fabricación de Artículos Plásticos	0	0,0%
		Impregnado de madera	1	0,3%
		Industria de Artes Gráficas	0	0,0%
Total			298	100%

Fuente: Elaboración propia

De los resultados, se aprecia el 67,1% de las fuentes puntuales pertenecen a la sub-categoría de combustión externa puntual y dentro de ésta, la mayoría corresponde a caldera de calefacción (58,1% del total de las fuentes).

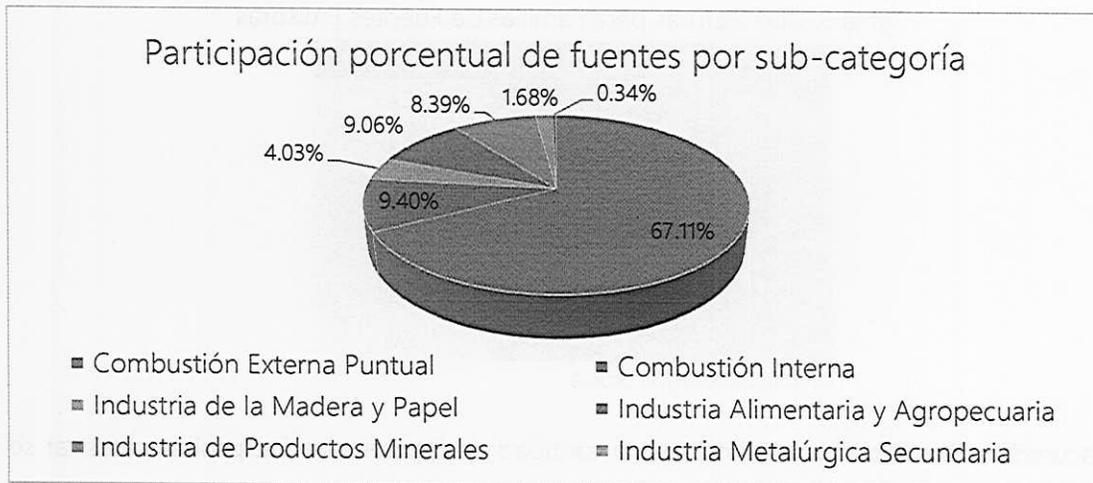


Figura 2. Participación porcentual de fuentes por sub-categoría

De acuerdo a los valores consolidados por tipo de fuente, se presentan a continuación las tablas segregadas para cada categoría presentada en la tabla 10.

Para el desarrollo del presente inventario, la mayor parte de la información fue levantada mediante campaña de terreno directo en la fuente, luego la segunda fuente de información corresponde a los registros del RETC y finalmente cuando no fue posible obtener la información desde las fuentes mencionadas se realizó una estimación. La figura siguiente muestra la cantidad de fuentes que fueron abordadas según origen de la fuente de información.

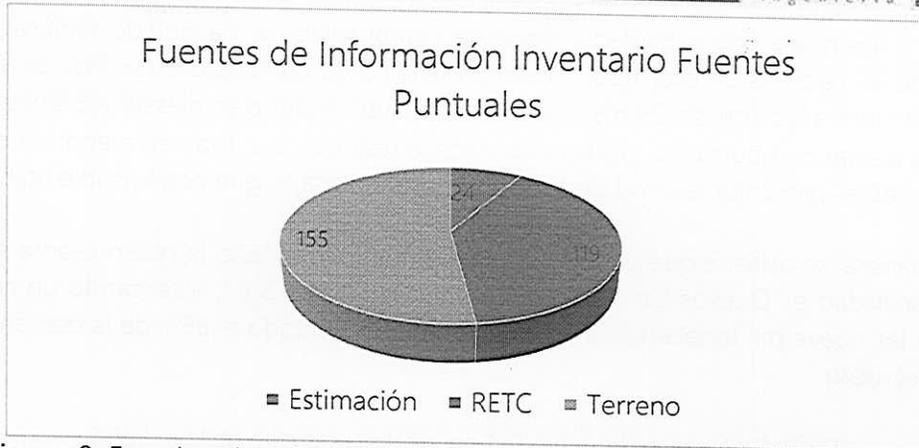


Figura 3. Fuentes de información para Inventario de Fuentes Puntuales

#### 4.1 CALDERAS INDUSTRIALES

La tabla siguiente presenta la cantidad de calderas industriales por Empresa. En total se registraron 27 calderas industriales, lo que corresponde al 9,1% de todas las fuentes puntuales catastradas. La mayoría de los procesos productivos del parque industrial está vinculado al sector forestal y la generación de subproductos derivados del tratamiento de esta. Siendo además relevante el sector alimentos.

Tabla 11. Número de Calderas de Industriales por Industria

Industria	Fuentes
Alwoplast	1
Cecinas Pacel S.A.	1
Cecinas Schwencke	1
CMPC Cartulinas	3
Colbún S.A.	2
DEMA Ltda.	3
Forestal Río Calle Calle	1
Forestal Selva Valdiviana	1
Frival	1
Hospital Base de Valdivia	2
Infodema	2
Kunstmann	2
Levaduras Collico S.A.	1
Maderas Sobarzo	1
Pesquera Isla del Rey	1
Quesos Las Parcelas de Valdivia (WATT'S S.A.)	2
Reperf	1
TodoAgro	1
Total	27

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los niveles de actividad y tipos de combustible, se ha podido verificar, que la mayoría de las calderas de este tipo, funcionan leña como combustible (33,3%), en segundo lugar se encuentra la biomasa (29,6%), luego se encuentra el petróleo diesel (14,8%) y el carbón (11,1%), los demás combustibles, gas licuado y aceite residual se utilizan en menor medida. Las siguientes tablas presentan el nivel de actividad por empresa, según combustible utilizado.

De esta manera, se obtiene que para las empresas que utilizan leña, la que presenta el mayor nivel de actividad es Quesos Las Parcelas de Valdivia (Watt's S.A.), alcanzando un consumo cercano a las nueve mil toneladas por año de leña, representado el 85% de la demanda total de leña del rubro.

Tabla 12. Niveles de Actividad para empresas que utilizan Leña

Industria	Nivel de Actividad (Ton/año)
Alwoplast	31,7
Cecinas Pacel S.A.	633,5
Cecinas Schwencke	506,8
Forestal Río Calle Calle	17,9
Frival	190,1
Maderas Sobarzo	136,2
Quesos Las Parcelas de Valdivia (WATT'S S.A.)	8.805,6
TodoAgro	36,9
<b>Total</b>	<b>10.358,7</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Niveles de Actividad para empresas que utilizan Biomasa.

Industria	Nivel de Actividad (Ton/año)
CMPC Cartulinas	42.861,0
DEMA Ltda.	46,5
Infodema	42.588,0
<b>Total</b>	<b>85.495,5</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Niveles de Actividad para empresas que utilizan Carbón.

Industria	Nivel de Actividad (Ton/año)
Hospital Base de Valdivia	2.360,0
Levaduras Collico S.A.	1.800,0
<b>Total</b>	<b>4.160,0</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Niveles de Actividad para empresas que utilizan Gas Licuado

Industria	Nivel de Actividad (Ton/año)
Kunstmann	392,2
Pesquera Isla del Rey	14,9
<b>Total</b>	<b>407,0</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Niveles de Actividad para empresas que utilizan Petróleo Diesel

Industria	Nivel de Actividad (Ton/año)
CMPC Cartulinas	298,9
Colbún S.A.	30.725,5
Frival	6,1
Hospital Base de Valdivia	1,4
Infodema	393,1
Kunstmann	2,6
Levaduras Collico S.A.	16,8
Pesquera Isla del Rey	5,9
<b>Total</b>	<b>31.450,2</b>

Fuente: Elaboración propia

La tabla siguiente presenta los niveles de actividad (ton/año) de las calderas industriales para los distintos tipos de combustibles utilizados. Dando cuenta de lo extensivo que es el uso de combustibles sólidos en la zona de estudio, dejando muy relegado el consumo de gas.

Tabla 17. Niveles de Actividad por tipo de combustible para calderas Industriales

Combustible	Nivel de Actividad (Ton/año)
Biomasa	85.495,5
Carbón	4.160,0
Gas Licuado	407,0
Leña	10.358,7
Petróleo Diesel	31.450,2

Fuente: Elaboración propia

En la figura siguiente se presenta la distribución espacial de las fuentes industriales, encontrándose las mayores fuentes en la periferia de la zona urbana y mayoritariamente en sectores menos poblados, aun cuando en el sector las ánimas se concentran importantes industrias que podrían impactar a la calidad del aire del centro de Valdivia



A continuación las siguientes tablas presentan el nivel de actividad por sector catastrado y por tipo de combustible utilizado. Además se presenta la distribución espacial de las fuentes asociadas a calderas de calefacción para cada rubro catastrado.

Dentro del sub tipo calderas de calefacción el sector de Edificios comparte el segundo lugar en relevancia respecto del número de fuentes catastradas. De manera particular los Edificios con mayores niveles de actividad, corresponden al Edificio Prales, Tornagaleones y José Taboada con un NA superior a las 300 ton/año de leña.

Tabla 19. Nivel de Actividad para calderas de Calefacción para el sector Edificios

Nombre de la Fuente	Tipo Combustible	Nivel de Actividad (Ton/año)	
Comunidad Edificio Taboada	LEÑA	158,4	
Edificio Marques de Mancera		105,6	
Edificio Tornagaleones		316,7	
Edificio Carlos Andwanter		105,6	
Edificio Centro		105,6	
Edificio Prales		527,9	
Edificio Lautaro		37,0	
Edificio Zerené		31,7	
Subtotal - NA Leña		1.388,4	
Edificio Libertad		Petróleo diesel	10,1
Edificio Consorcio			10,1
Edificio El Golf	12,3		
Edificio Inés de Suarez	16,8		
Edificio O'Higgins	10,1		
Edificio Aillileu	15,1		
Edificio Rodmanis	10,1		
Edificio Maipú	8,4		
Edificio Santa Inés	7,6		
Edificio Picarte	16,8		
Subtotal - NA Petróleo Diesel	117,3		

Fuente: Elaboración propia

La figura siguiente muestra la distribución de las fuentes asociadas a Edificios Residenciales y de Oficinas, ambos representan niveles de actividad similares a los registrados para establecimientos educacionales, sin embargo los periodos de funcionamiento poseen mayores similitudes con las fuentes de combustión residencial de leña. Este tipo de fuente está fuertemente concentrada en el centro de la ciudad y en el sector costanera de la ciudad.

3021

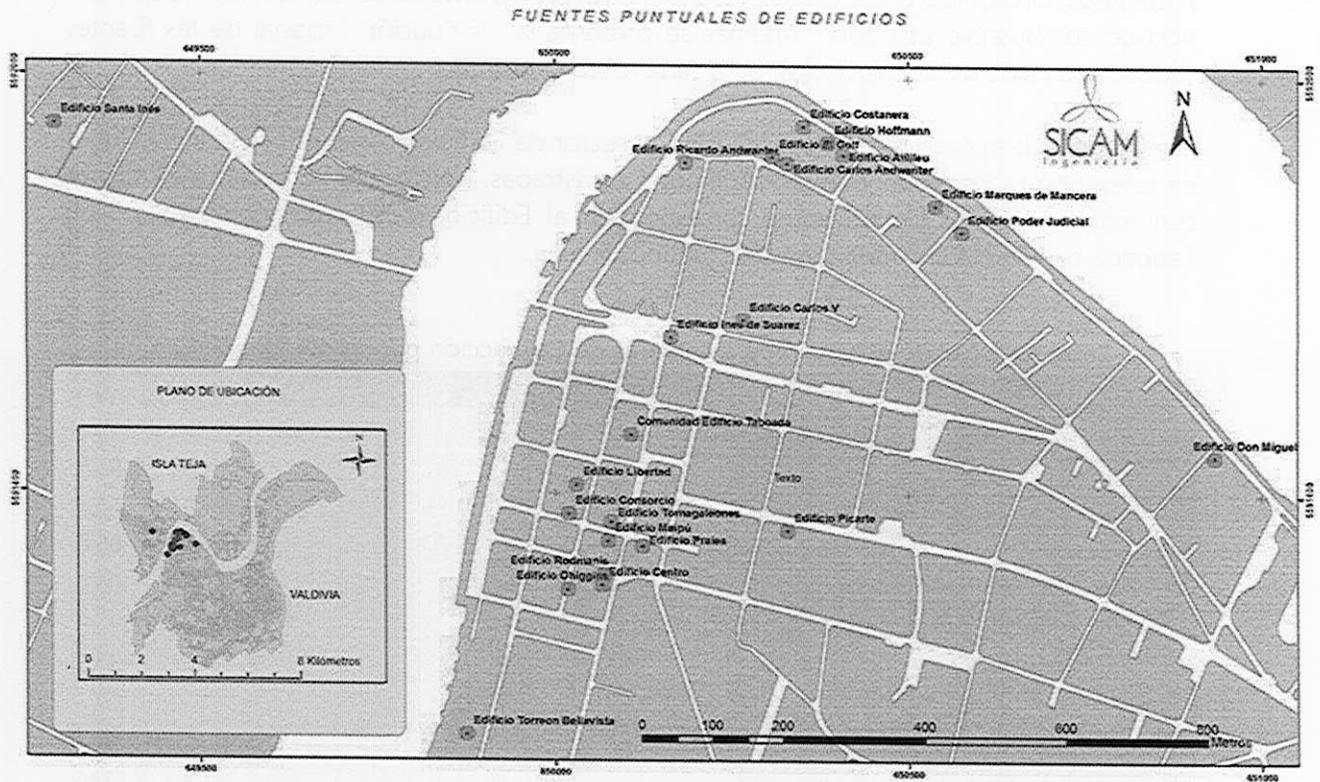


Figura 5. Distribución Espacial Fuentes Puntuales Edificios Comuna de Valdivia.

Tabla 20. Nivel de Actividad para calderas de Calefacción para el sector Industrial

Nombre de la Fuente	Tipo Combustible	Nivel de Actividad (Ton/año)
Chocolatería Entrelagos	Leña	75,4
Subtotal - NA Leña		75,4
ASENAV	Petróleo diesel	50,40
Delisur S.A		0,03
Subtotal - NA Petróleo Diesel		50,4

Fuente: Elaboración propia

El sector de los establecimientos educacionales catastrados, poseen en su mayoría calderas a leña y petróleo diesel, siendo de gran relevancia la información declarada por la UACH, la cual tiene 64 fuentes a lo largo de sus distintos campus y edificios, de las cuales 13 funcionan con Leña (dato en base a información declarada en RETC 2013); por otra parte se tiene que el Instituto Alemán tiene el consumo más alto de leña llegando a superar las 500 Ton/año.

Tabla 21. Nivel de Actividad para calderas de Calefacción para el sector Est. Educativos

Nombre de la Fuente	Tipo Combustible	Nivel de Actividad (Ton/año)	
Instituto Alemán Carlos Andwanger	Leña	527,9	
Liceo Industrial		63,3	
Colegio Nuestra Señora del Carmen		56,0	
Colegio Sanata Marta		63,3	
Colegio Gracia y Paz		18,5	
Liceo Armando Robles Rivera		91,9	
Escuela El Laurel		48,6	
Liceo Politécnico Benjamín Vicuña Mackenna		29,6	
Escuela Alemania F-14		29,6	
C.E.I.A. Moll Briones		20,1	
Escuela Ann Sullivan		20,1	
Liceo Polivalente		18,5	
Centro Educacional San Nicolás		60,2	
Hampton College		21,1	
Universidad Austral de Chile		774,6	
Subtotal - NA Leña		1.843,1	
Colegio María Auxiliadora		Petróleo Diesel	7,6
Instituto Salesiano			7,1
Colegio Técnico	18,8		
Colegio de Música Sebastián Bach	20,2		
Liceo Industrial	5,9		
Colegio Helvecia	11,8		
Escuela Angachilla	14,1		
Winsor School	21,0		
Universidad Austral de Chile	521,8		
Subtotal - NA Petróleo Diesel	628,1		

Fuente: Elaboración propia

La ubicación de las fuentes asociadas a establecimientos educacionales, muestra una distribución uniforme, con una leve tendencia a concentrarse en el centro de la ciudad, aun cuando el combustible que prima en los establecimientos más céntricos, corresponde al petróleo.

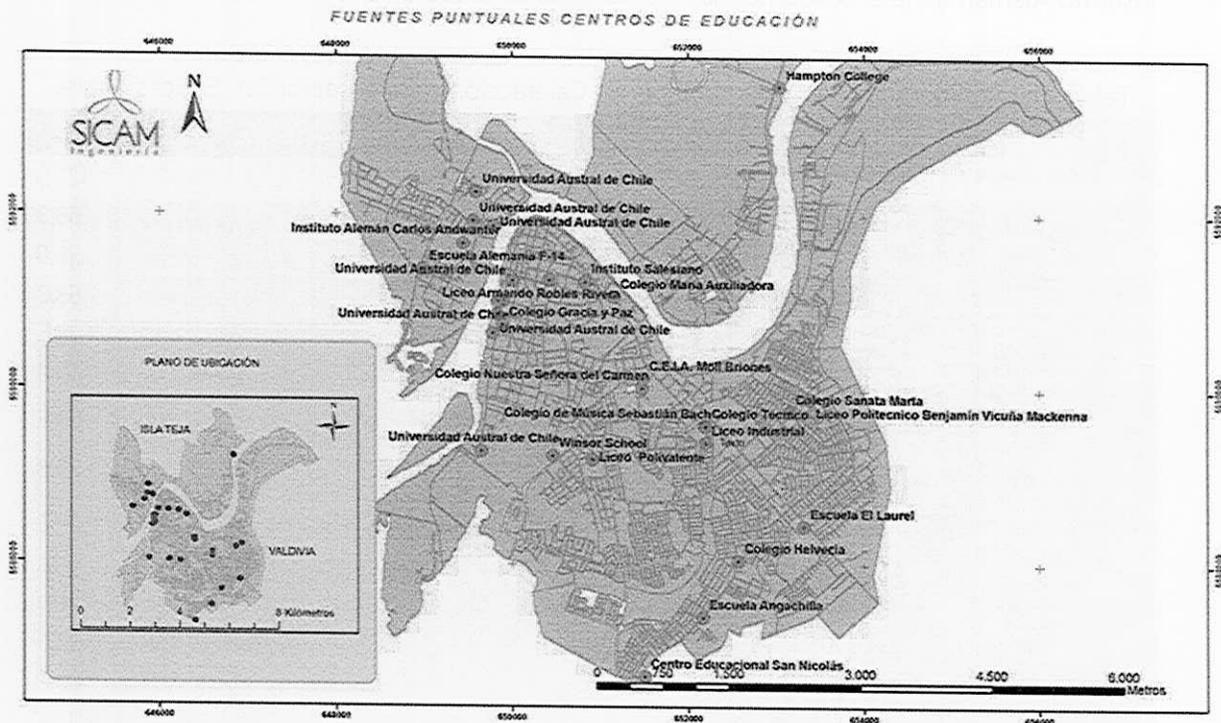


Figura 6. Distribución Espacial Fuentes Puntuales Centros Educativos Comuna de Valdivia.

Respecto a las instituciones públicas todas declaran funcionar con biomasa como combustible, siendo el edificio Municipal el que presenta el mayor consumo seguido del Servicio de Salud de Valdivia.

Tabla 22. Nivel de Actividad para calderas de Calefacción para el sector Inst. Públicas

Nombre de la Fuente	Tipo Combustible	Nivel de Actividad (Ton/año)
Ilustre Municipalidad de Valdivia	Leña	124,1
Servicio de Salud		105,6
CONAF		63,4
Departamento Social Municipal		33,3
SERVIU		29,0
Biblioteca Municipal		23,8
SEREMI de Agricultura		7,9
Total		386,9

Fuente: Elaboración propia

FUENTES PUNTALES SERVICIOS PÚBLICOS

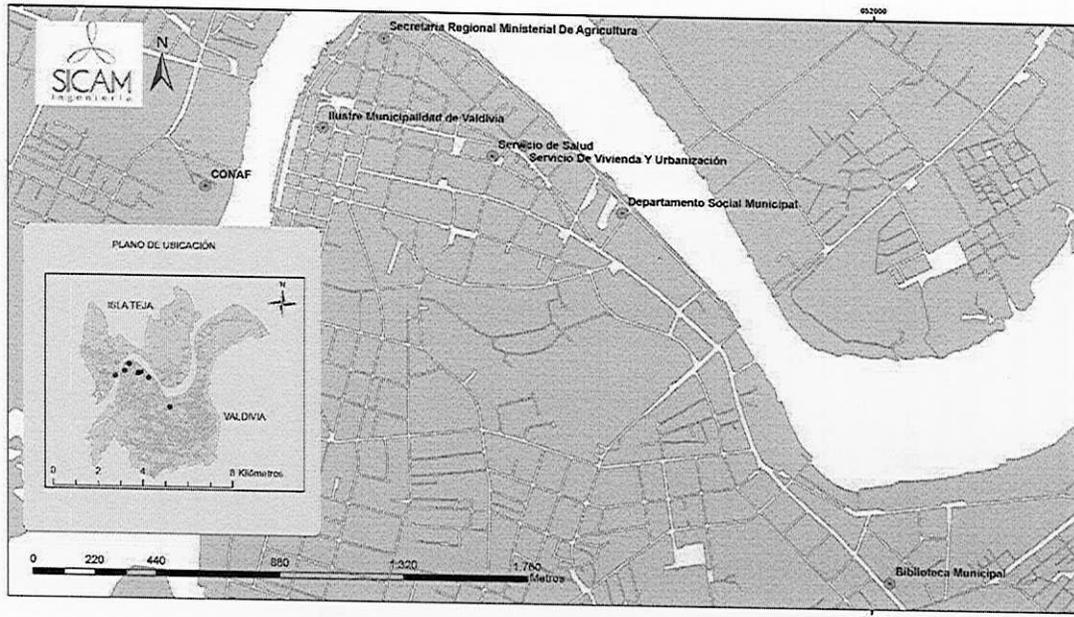


Figura 7. Distribución Espacial Fuentes Puntuales Instituciones Públicas Comuna de Valdivia.

Respecto a las calderas de calefacción asociadas a instituciones de salud se tiene que la que presenta un mayor nivel de actividad es la clínica Alemana de Valdivia alcanzando las 2.136 toneladas año de leña, la que la sitúa como la más relevante dentro de las calderas de calefacción. Cabe destacar que las Calderas pertenecientes al hospital se encuentran registradas como calderas industriales, por tanto se ha sacado del análisis correspondiente a calefacción.

Tabla 23. Nivel de Actividad para calderas de Calefacción para el sector Inst. Salud

Nombre de la Fuente	Tipo Combustible	Nivel de Actividad (Ton/año)
Clínica Alemana De Valdivia	Leña	2.136,5
Consultorio Externo De Valdivia		105,6
Centro Médico Los Torreones		26,4
Clínica Dermalud		15,3
Total		2.283,7

Fuente: Elaboración propia

FUENTES PUNTALES CENTROS DE SALUD

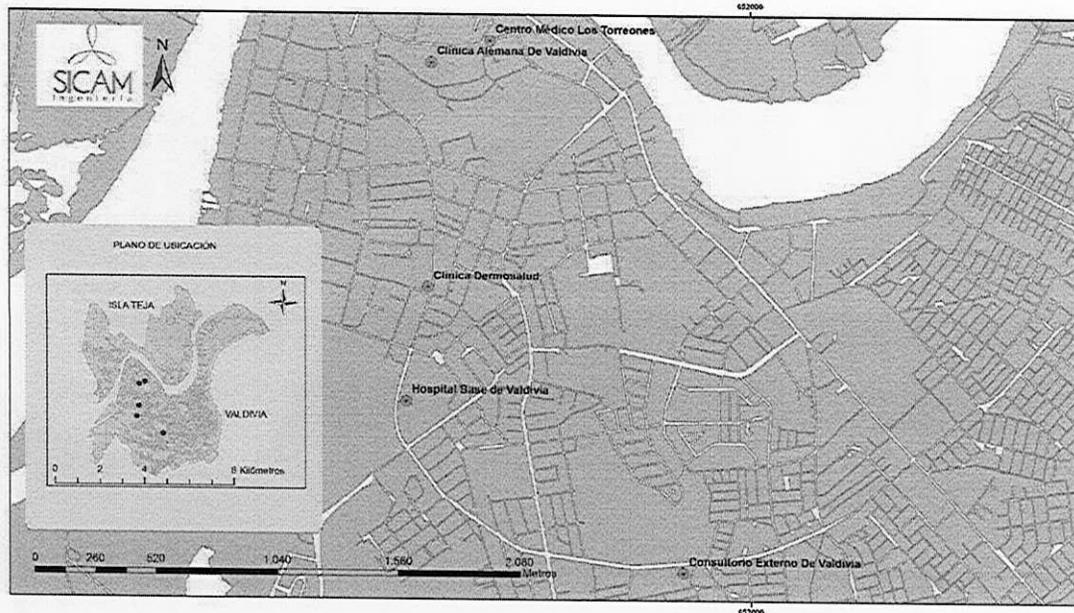


Figura 8. Distribución Espacial Fuentes Puntuales Instituciones de Salud Comuna de Valdivia.

De acuerdo a lo que se pudo catastrar, existe un gran número de fuentes asociadas al sector de Hoteles, hospedaje y cabañas, por cuanto dicho rubro adquiere relevancia en la zona de estudio, atendiendo sobre todo a los perfiles de funcionamiento de las fuentes y el tipo de combustible, que es mayoritariamente leña.

Tabla 24. Nivel de Actividad para calderas de Calefacción para el sector Hoteles, Hostales y Cabañas

Nombre Fuente	Tipo Combustible	Nivel de Actividad (Ton/año)
Hostal Entre Ríos	Leña	42,2
Hotel Naguilan		116,1
Hotel Casa Kolping		68,6
Hostal Prat I		51,7
Hostal Prat II		51,2
Hotel El Castillo de Niebla		69,2
Hostal Río de Luna		67,6
Cabañas Raitue		98,7
Apart Hotel Río Cruces		24,3
Hostal Bosque Nativo		14,8
Subtotal - NA Leña		604,5

Hotel Carampangue		10,1
Hotel Melillanca		10,1
Hotel Puertas del Sur		12,3
Hotel DI Torlaschi		16,8
Hotel Unelen	Petróleo diesel	10,1
Hotel Naguilan		15,1
Hotel Villa del Río		10,1
Subtotal - NA Petróleo Diesel		84,5

Fuente: Elaboración propia

Al igual que los edificios los Hoteles se encuentran principalmente en el centro de la ciudad, existiendo además algunos en el sur de la ciudad en el sector riveraño.

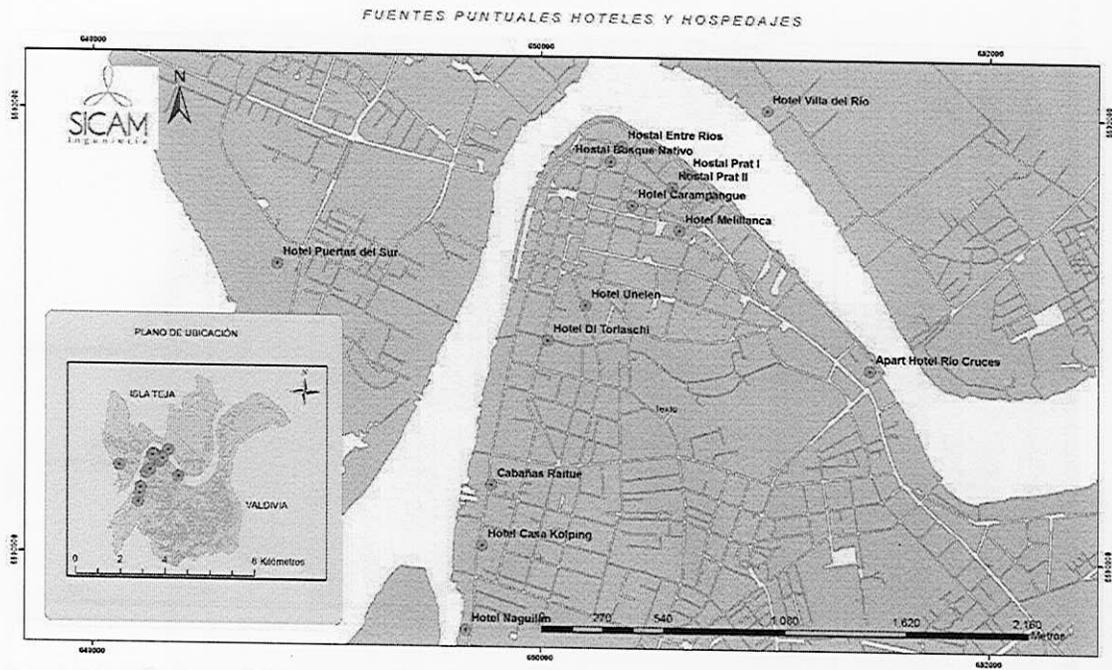


Figura 9. Distribución Espacial Fuentes Puntuales Hoteles y Hospedajes Comuna de Valdivia.

La categoría "otras" considera todas aquellas fuentes que no han sido distribuidas en las categorías precedentes. En total dichas fuentes poseen niveles de actividad de 221,2 Ton/leña al año, siendo las con mayor consumo el Hogar Luterano y el Club de la Unión.

Tabla 25. Nivel de Actividad para calderas de Calefacción para el sector Otras

Nombre Fuente	Tipo Combustible	Nivel de Actividad (Ton/año)
Valtor	Leña	12,7
Iglesia Evangélica Luterana		36,9
Fundación Hogar Luterano de Valdivia		83,4
Club de la Unión		71,3
Centro de Gracia		16,9
Total		221,9

Fuente: Elaboración propia

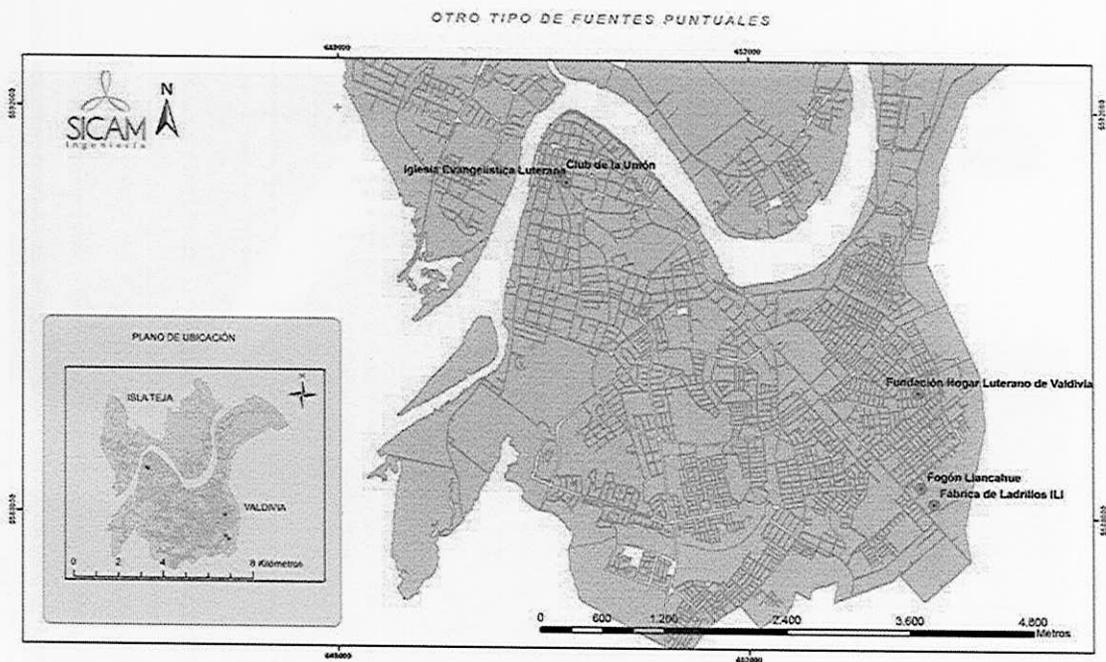


Figura 10. Distribución Espacial Fuentes Puntuales Categoría "Otras" Comuna de Valdivia

Para el sector de las panaderías, se encontraron tres combustibles para el funcionamiento de sus hornos. Dentro de los cuales, el más relevante es la leña, alcanzando en su conjunto un total cercano a las 1.000 toneladas año de leña. Este tipo de fuentes poseen un perfil temporal continuo, por cuanto el consumo de combustible debe ser distribuido mensualmente de manera uniforme.

Tabla 26. Nivel de Actividad para Hornos Panaderos

Nombre Panadería	Tipo Combustible	Nivel de Actividad (Ton/año)
Panadería Selecta	Leña	126,7
Panadería Smolko		221,7
Panadería Lehmann		126,7
Panadería Bórquez		253,4
Panadería El Merkadito		95,0
Panadería Multipan		126,7
Subtotal - NA Leña		950,2
Panadería El Torreón	Petróleo Diesel	4,5
Panadería Puritan		3,0
Subtotal - NA Petróleo Diesel		7,6
Panadería La Baguette	Gas Licuado	3,2
Panadería Mi Pueblito		4,3
Panadería Don d Arturo		4,3
Subtotal - NA Gas Licuado		11,8

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3 ANALISIS RESUMEN NIVELES DE ACTIVIDAD FUENTES DE COMBUSTIÓN EXTERNA.

A continuación se presenta un análisis comparativo, con el fin de presentar los mayores consumidores de leña en Valdivia.

La siguiente tabla presenta el resumen del nivel de actividad de los distintos sectores catastrados, considerando el consumo de leña. Se aprecia que el sector industrial, representa solo el 9% de todas las fuentes puntuales, con un consumo del 57,2% del total. De manera opuesta, las calderas de calefacción que representan el 58% de todas las fuentes puntuales, representan en su conjunto el 37,6% del consumo de leña de todas las fuentes catastradas. A su vez, los hornos panaderos tienen una participación importante, consumiendo el 5% del total.

Tabla 27. Nivel de Actividad para calderas de Calefacción para Distintos Sectores Catastrados

Sector	Nivel de Actividad (Ton leña/año)	%
Calderas Industriales	10.358,7	56,2%
Calderas Calef. Edificios	1.388,4	7,6%
Calderas Calef. Industrias	75,4	0,4%
Calderas Calef. Est. Educativas	1.843,1	10,1%
Calderas Calef. Ins. Públicas	386,9	2,1%
Calderas Calef. Ins. De Salud	2.283,7	12,5%
Calderas Calef. Hoteles, Hosp. Y Cabañas	604,5	3,3%
Calderas Calef. Comercial	105,0	0,6%
Calderas Calef. Otras	221,2	1,2%
Hornos Panaderos	950,2	5,2%
Total	18.217,2	100,0%

Fuente: Elaboración propia

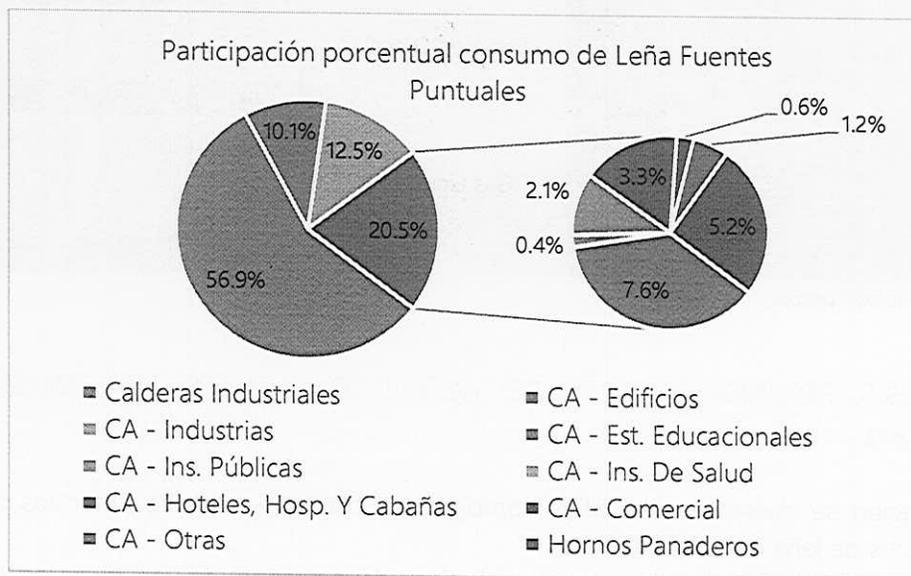


Figura 11. Participación porcentual del consumo de leña para fuentes puntuales, Comuna de Valdivia.

La siguiente tabla presenta una comparación de la totalidad de fuentes catastradas, independiente del rubro o sector bajo el cual se caracterizaron. De esta manera, es posible identificar los mayores consumidores de leña dentro de las fuentes puntuales, así se presentan 13 de los 78 establecimientos que consumen este tipo de combustible, representando solo estos 13 señalados en la tabla, el 83,9% de toda la leña consumida por las fuentes puntuales en la Comuna de Valdivia, quedando el 16,1% restante del consumo, dividido en las demás 65 fuentes.

Tabla 28. Nivel de Actividad para calderas de Calefacción para el sector Otras

Nombre	Nivel de Actividad (Ton/año)	%
Quesos Las Parcelas de Valdivia (WATT'S S.A.)	8.805,56	48,6%
Clínica Alemana De Valdivia	2.136,46	11,8%
Universidad Austral de Chile	774,60	4,3%
Cecinas Pacel S.A.	633,49	3,5%
Edificio Prales	527,91	2,9%
Instituto Alemán Carlos Andwanter	527,91	2,9%
Cecinas Schwencke	506,79	2,8%
Edificio Tornagaleones	316,75	1,7%
Panadería Bórquez	253,40	1,4%
Panadería Smolko	221,72	1,2%
Frival	190,05	1,0%
Comunidad Edificio Taboada	158,37	0,9%
Maderas Sobarzo	136,20	0,8%

Fuente: Elaboración propia

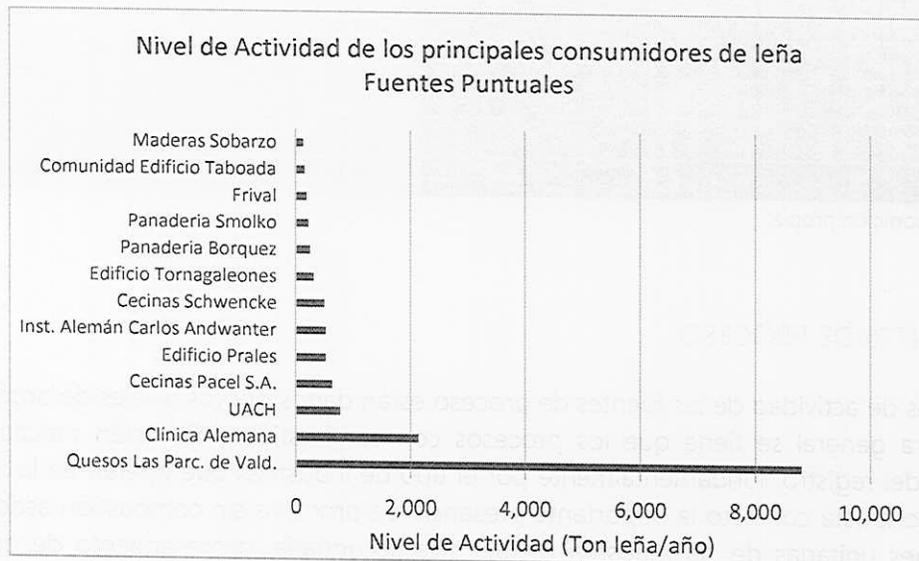


Figura 12. Ranking de los mayores consumidores de Leña de las Fuentes Puntuales, Comuna de Valdivia

#### 4.4 EQUIPOS ELECTRÓGENOS

Se pudo verificar que el registro con el cual se preparó el presente informe, no cuenta con entradas referentes a la operación de equipos electrógenos para la comuna de Valdivia, por tal motivo, fue necesario utilizar la información catastrada en terreno como fuente principal de información, llegando a un número de 28 fuentes, este catastro pudiera variar significativamente al incorporar información detallada del RETC actualizado, tomando como ejemplo lo ocurrido en otras zonas del país. A continuación se presentan los niveles de actividad asociados a Equipos Electrógenos más relevantes de la zona de estudio

Tabla 29. Niveles de Actividad Equipos Electrógenos

Industria	Nivel de Actividad (Ton/año)
CMPC Cartulinas	3,88
Frival	6,05
Infodema	393,12
Kunstmann	1,76
Levaduras Collico S.A.	16,80
Pesquera Isla del Rey	5,88
Delisur S.A.	0,03
Soc. Industrial Kunstmann S.A. (Molino Collico)	23,42
Puertas Wood's	29,53
Total	480,47

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5 FUENTES DE PROCESO

Los niveles de actividad de las fuentes de proceso están dados por los niveles de producción, de manera general se tiene que los procesos con combustión (PC), están prácticamente ausentes del registro, fundamentalmente por el tipo de industrias que operan en la zona de estudio, contrasta con esto la importante presencia de procesos sin combustión asociados a operaciones unitarias de la industria metalúrgica secundaria, procesamiento de granos y productos minerales.

#### 4.5 ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR EMPRESA (CALDERAS INDUSTRIALES)

Para la estimación de emisiones se consideró además los sistemas de control disponibles, en base a lo cual se pudo constatar que solamente CMPC, INFODEMA y Levaduras Collico, presentan asociadas a sus calderas sistemas de abatimiento mecánico. En particular estas 3 empresas cuentan con Multiciclón, que poseen eficiencias cercanas al 70-80% teórico de remoción de partículas. Los factores de emisión utilizados para estos casos involucran la adición de la eficiencia de remoción. Cabe destacar además que CMP, Collico y Colbún presentan mediciones isocinéticas para sus principales fuentes emisoras, por tanto la estimación se ha hecho en base a esta información.

Tabla 30. Emisiones para Calderas Industriales

Industria	MP10	MP2.5	SOx	NOx	CO	COVs
Kunstmann	0,07	0,07	0,14	1,74	0,30	0,03
Maderas Sobarzo	0,41	0,36	0,03	0,56	0,69	0,02
Quesos Las Parcelas de Valdivia	26,73	23,02	1,86	36,38	44,55	1,26
Forestal Selva Valdiviana	1,47	1,47	1,69	0,11	0,03	0,01
Forestal Río Calle Calle	0,05	0,05	0,004	0,07	0,09	0,003
Infodema	184,41	109,14	9,41	82,80	127,76	6,40
Colbún S.A.	7,38	5,39	0,50	82,50	19,61	18,74
CMPC Cartulinas	135,21	124,36	1,67	27,51	1.671,20	6,62
Frival	0,58	0,50	0,04	0,79	0,96	0,03
Levaduras Collico S.A.	22,36	13,09	99,18	16,53	6,30	0,05
Pesquera Isla del Rey	0,003	0,003	0,005	0,07	0,01	0,001
Cecinas Pacel S.A.	1,92	1,66	0,13	2,62	3,21	0,09
cecinas schwencke	1,54	1,33	0,11	2,09	2,56	0,07
DEMA Ltda.	0,21	0,18	0,01	0,09	0,14	0,01
TodoAgro	0,11	0,09	0,01	0,153	0,19	0,01
Reperf	-	-	-	-	-	-
Alwoplast	0,09	0,08	0,01	0,13	0,16	0,01
Hospital Base de Valdivia	6,99	2,64	130,04	8,85	7,08	0,07
<b>Total</b>	<b>389,53</b>	<b>283,41</b>	<b>244,83</b>	<b>262,99</b>	<b>1.884,84</b>	<b>33,42</b>

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presentan gráficamente los resultados obtenidos para las emisiones de calderas industriales para contaminantes seleccionados, en particular se tiene que Infodema y CMPC presentan las mayores emisiones de MP, mientras que Collico y el Hospital de Valdivia presentan las mayores emisiones de SO<sub>2</sub>, esto último debido fundamentalmente al tipo de combustible utilizado (Carbón)

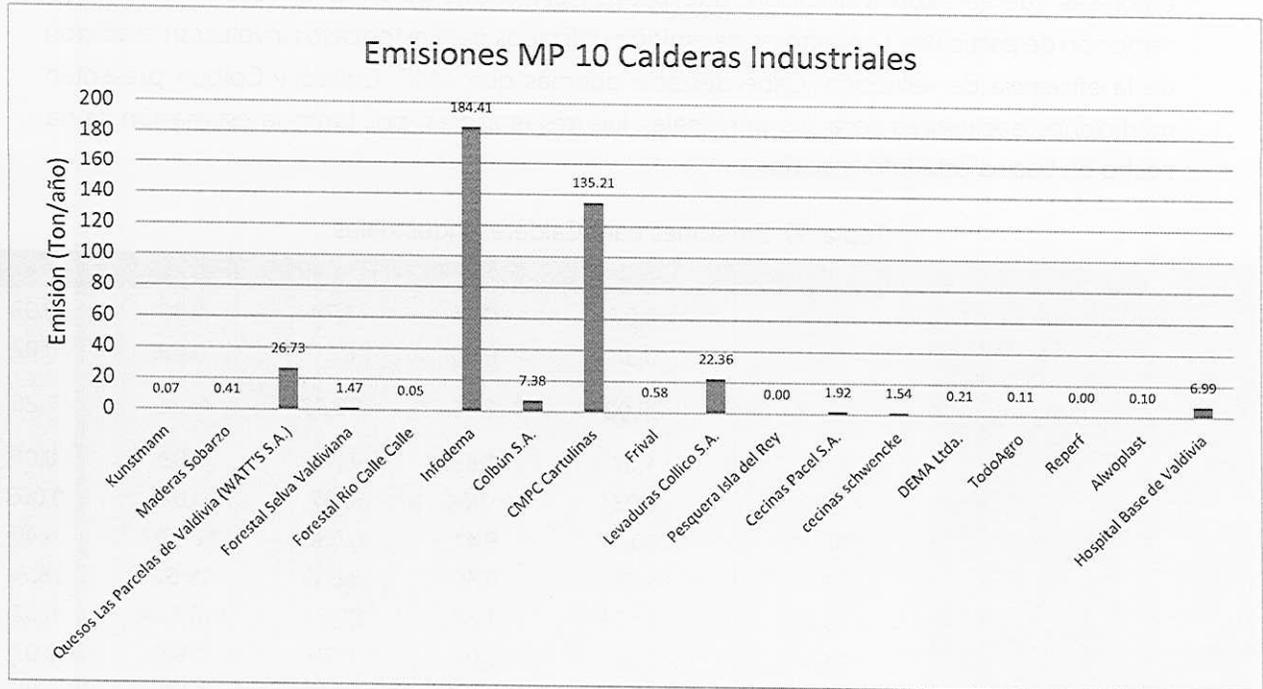


Figura 13. Emisiones MP10 Calderas Industriales

Dentro de las fuentes relevantes según su emisión de MP10 MP2.5, también se encuentran Quesos las Parcelas de Valdivia, Levaduras Collico, Colbún y el Hospital Base de Valdivia. El resto de las emisiones son inferiores a 2 Ton/año. Es posible observar en la figura 14, que el aporte del Hospital Base de Valdivia baja drásticamente al tratarse de emisiones de MP2.5, debido fundamentalmente al tipo de combustible, pese a esto la fuente sigue siendo relevante dentro del plano general de emisiones.

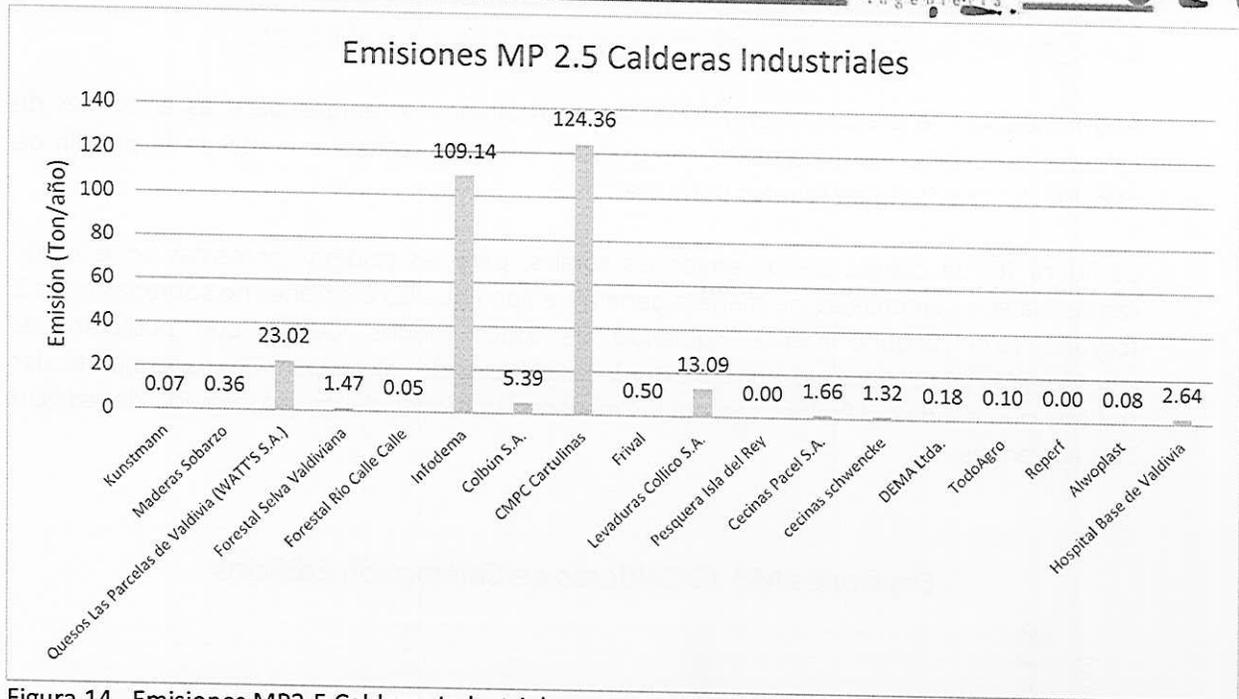


Figura 14. Emisiones MP2.5 Calderas Industriales

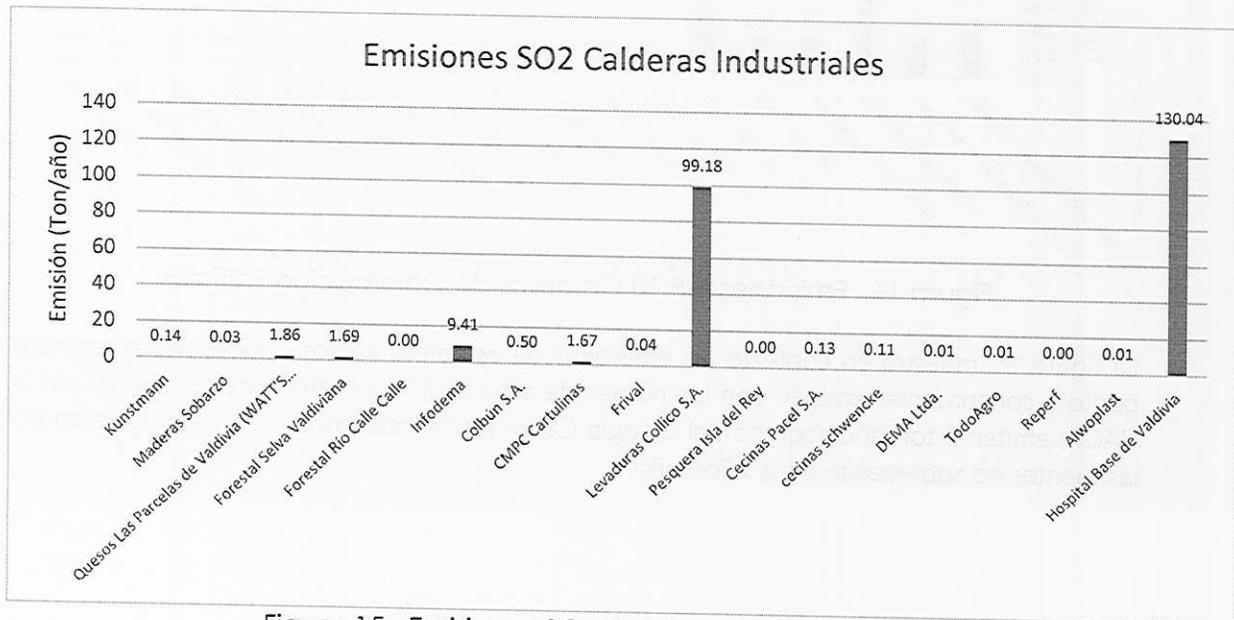


Figura 15. Emisiones SO<sub>2</sub> Calderas Industriales

#### 4.6 ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR CALDERAS DE CALEFACCION

A continuación se presentan gráficamente los resultados obtenidos para las emisiones de calderas de calefacción para MP10, los gráficos restantes se han anexado en la planilla de cálculos del inventario de fuentes puntuales.

La figura 16, da cuenta de las emisiones totales, para las calderas presentes en edificios residenciales y comerciales, de manera general se tiene que las emisiones no sobrepasan las 2 ton/año para ninguna fuente, habiendo de todos modos fuentes que pudieran ser consideradas de relevancia en el contexto de las calderas de calefacción. De manera particular se tiene que el Edificio Prales presenta las mayores emisiones del grupo, seguido del edificio Tornagaleones

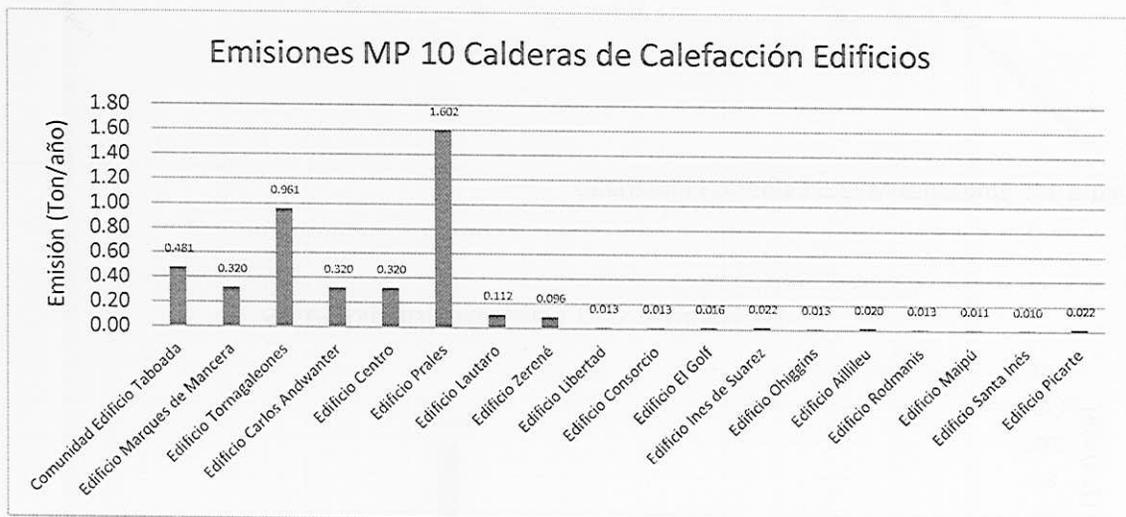


Figura 16. Emisiones MP 10 Calderas de Calefacción Edificios

La figura 17, muestra en contexto las emisiones de establecimientos educacionales, en este punto y concordante también con los niveles de actividad, la sumatoria de las fuentes de la UACH, emiten 3 ton/año seguido del Colegio Carlos Andwanter con 1,6 Ton/año. El resto de las fuentes no sobrepasan las 0,5 Ton/año.

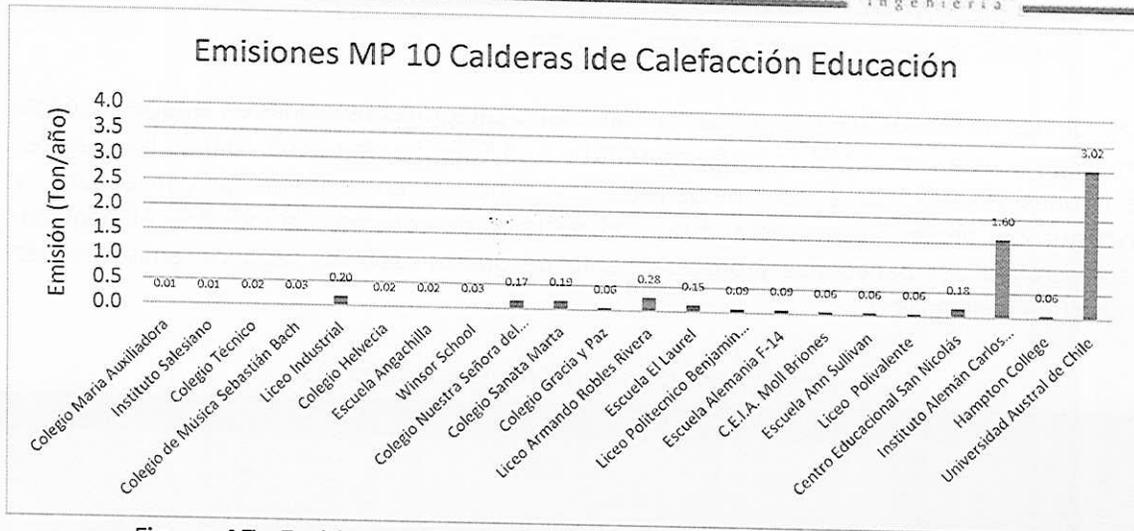


Figura 17. Emisiones MP 10 Calderas de Calefacción Educación

La figura 18, presenta las emisiones de las fuentes asociadas a calderas de calefacción funcionando en hospedajes y hoteles, en general se tiene que las emisiones se encuentran por debajo de las 0,5 Ton/año, habiendo poca variación entre las emisiones de calderas a leña.

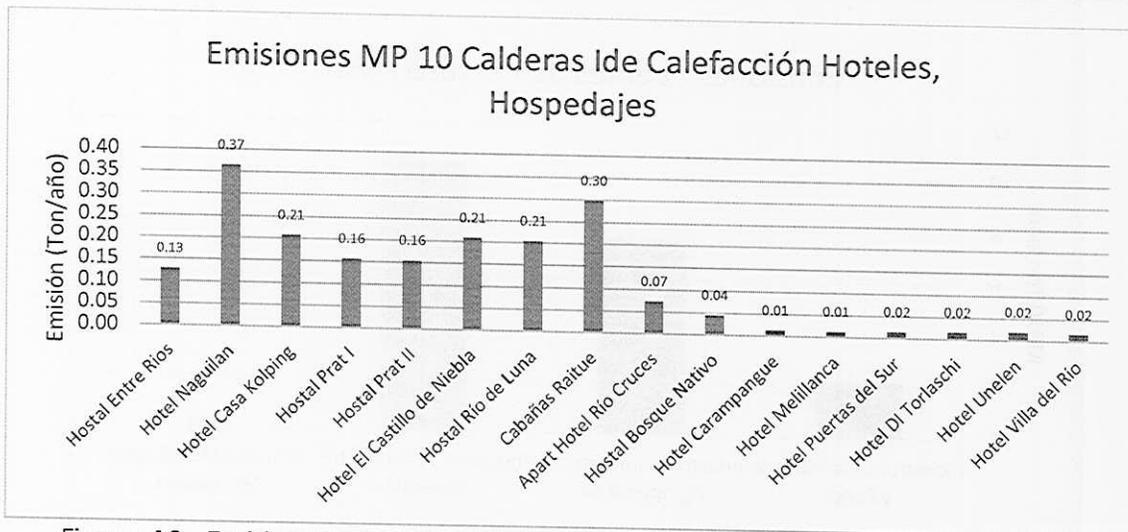


Figura 18. Emisiones MP 10 Calderas de Calefacción Hoteles y Hospedajes

#### 4.7 ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR PROCESO

Las fuentes de proceso representadas por las cuatro categorías señaladas en la tabla 31, en su totalidad aportan con 12,78 Ton/año de MP10 y 7,49 Ton/año de MP2.5, donde las mayores emisiones provienen de la industria de productos minerales, en donde se han concentrado la industria del procesamiento de áridos, y productoras de concreto. La industria Alimentaria, representada por panaderías y procesamiento de granos son los segundo emisores más importantes del grupo

Tabla 31. Emisiones para Procesos Industriales

Industria	MP10	MP2.5	SOx	NOx	CO	COVs
Industria de la Madera y Papel	1.57	0.61	-	-	-	-
Industria Alimentaria y Agropecuaria	4.77	2.81	0.38	4.03	4.82	0.14
Industria de Productos Minerales	6.40	4.06	0.02	0.38	0.47	0.01
Industria Metalúrgica Secundaria	0.03	0.01	0.53	0.04	0.03	0.00
<b>Total</b>	<b>12,78</b>	<b>7,49</b>	<b>0,93</b>	<b>4,45</b>	<b>5,32</b>	<b>0,16</b>

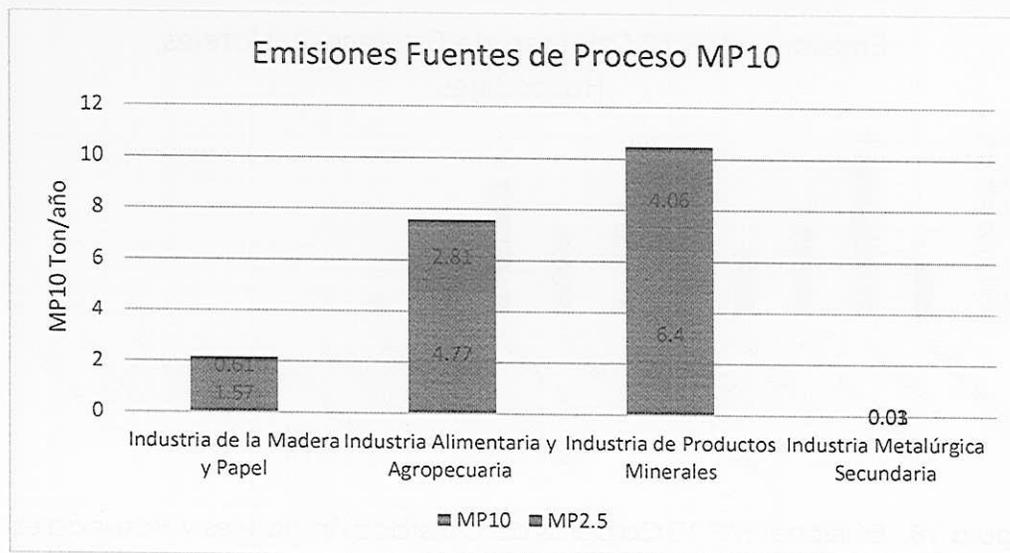


Figura 19. Emisiones MP10 Fuentes de Combustión

#### 4.7 ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR FUENTES DE COMBUSTION

El resumen de las emisiones para fuentes de combustión se presenta en las siguientes tablas y gráficos, dejando de manifiesto el importante aporte que poseen las fuentes de tipo industrial, representando el 93,8% de las emisiones totales de MP10, dejando en segundo lugar a las calderas de calefacción con un 7,2%

Tabla 32. Emisiones para Fuentes de Combustión

Fuente	MP10	MP2.5	SOx	NOx	CO	COVs
Calderas Industriales	389,53	283,41	244,83	262,99	1.884,84	33,41
Calderas de Calefacción Industrial	0,29	0,24	1,21	0,65	0,41	0,04
Calderas de Calefacción Edificios	4,37	3,74	3,06	6,53	7,10	0,27
Calderas de Calefacción Est. Educativas	6,41	5,41	15,24	11,86	9,71	0,65
Calderas de Calefacción Ins. Públicas	1,17	1,01	0,08	1,60	1,96	0,06
Calderas de Calefacción Ins. De Salud	6,93	5,97	0,48	9,44	11,55	0,33
Calderas de Calefacción Hoteles, Hostales y cabañas	1,94	1,66	2,09	3,06	3,11	0,14
Calderas de Calefacción Comercial	0,32	0,28	0,02	0,44	0,53	0,02
Calderas de Calefacción Otras	0,67	0,58	0,05	0,91	1,12	0,03
Equipos Electrógenos	0,62	0,45	11,40	3,26	0,29	0,29
Hornos de Panadería	2,90	2,49	0,38	4,03	4,82	0,14
Total Emisiones Fuentes Puntuales de Combustión	415,15	305,24	278,84	304,76	1.925,44	35,38

Fuente: Elaboración propia

Las calderas de calefacción en instituciones de salud aportan con el 1,7 % de las emisiones de MP10, seguido de las calderas en establecimientos educativos, con un 1,5% y las calderas de edificios con un 1,1%.

Aporte porcentual por tipo de Fuente Puntual a las emisiones de MP10

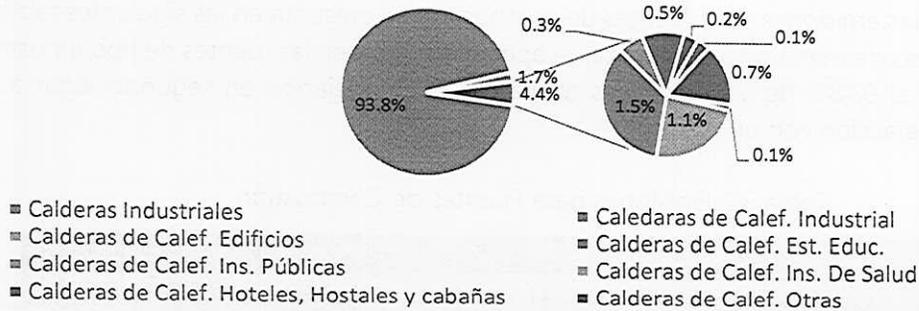


Figura 20. Emisiones MP10 Fuentes de Combustión

Aporte porcentual por tipo de Fuente Puntual a las emisiones de MP2.5

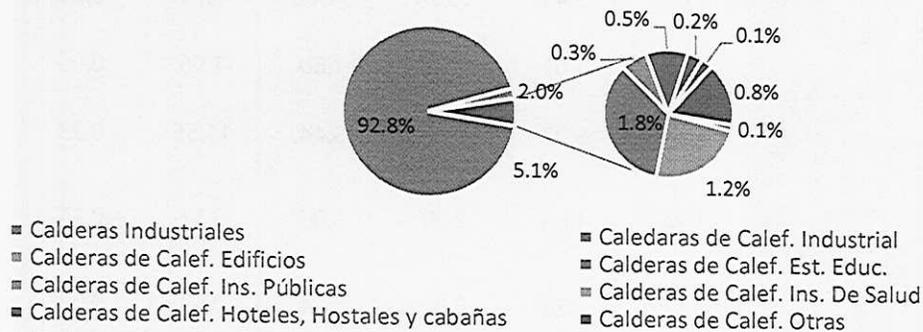


Figura 21. Emisiones MP2.5 Fuentes de Combustión

#### 4.8 RESUMEN EMISIONES

A continuación, en las siguientes tablas se presentan las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de las fuentes puntuales, separadas por rubro catastrado.

Tabla 33. Estimación de emisiones para Fuentes Puntuales, Comuna de Valdivia

Categoría	Sub-Categoría	Rubro	MP10	MP2.5	SOx	NOx	CO	COVs	
Combustión	Combustión Externa Puntual	Caldera Industrial	389,53	283,41	244,83	262,99	1.884,84	33,41	
		Caldera de Calefacción	22,11	18,88	22,23	34,49	35,49	1,53	
	Combustión Interna	Equipo Electrónico	0,62	0,45	11,40	3,26	0,29	0,29	
Procesos	Industria de la Madera y Papel	Fabricación de Artículos y Muebles	-	-	-	-	-	-	
		Fabricación de Madera Elaborada	-	-	-	-	-	-	
		Fábrica de Chips de Madera	1,57	0,61	-	-	-	-	
	Industria Alimentaria y Agropecuaria	Panaderías	2,90	2,49	0,38	4,03	4,82	0,14	
		Alimentos	-	-	-	-	-	-	
		Faenamiento de Animales	-	-	-	-	-	-	
	Industria de Productos Minerales	Procesamiento de Granos	Procesamiento de Granos	1,88	0,32	-	-	-	-
			Fabricación de Hormigón y Extracción de Áridos	6,12	3,82	-	-	-	-
		Fabricación de Ladrillos	0,28	0,24	0,02	0,38	0,47	0,01	
	Industria Metalúrgica Secundaria	Productos de Hierro y Acero	0,03	0,01	0,53	0,04	0,03	0,00	
Evaporativas	Evaporativas Puntuales	Fabricación de Artículos Plásticos	-	-	-	-	-	-	
		Impregnado de madera	-	-	-	-	-	0,01	
		Industria de Artes Gráficas	-	-	-	-	-	-	
<b>Total</b>			<b>425,03</b>	<b>310,24</b>	<b>279,39</b>	<b>305,18</b>	<b>1925,94</b>	<b>35,40</b>	

Fuente: Elaboración propia

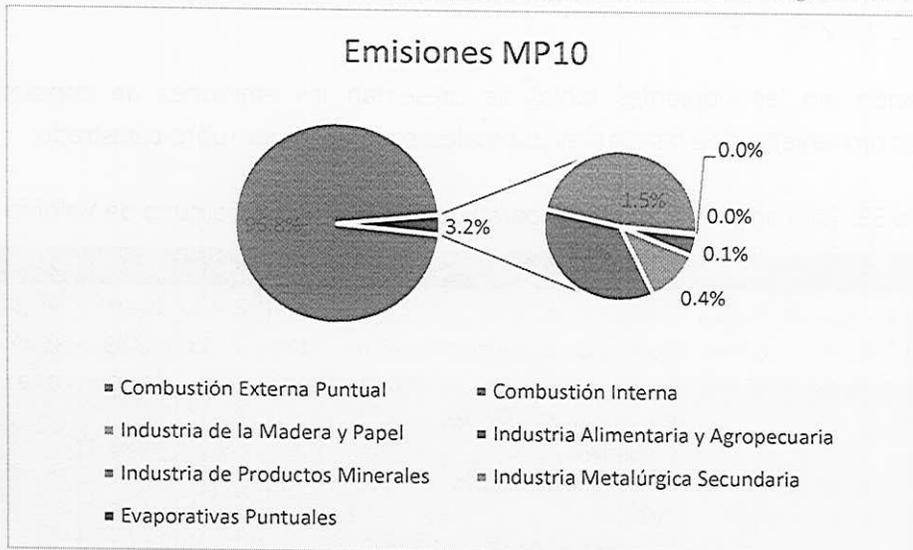


Figura 22. Emisiones MP10 por tipología de fuente

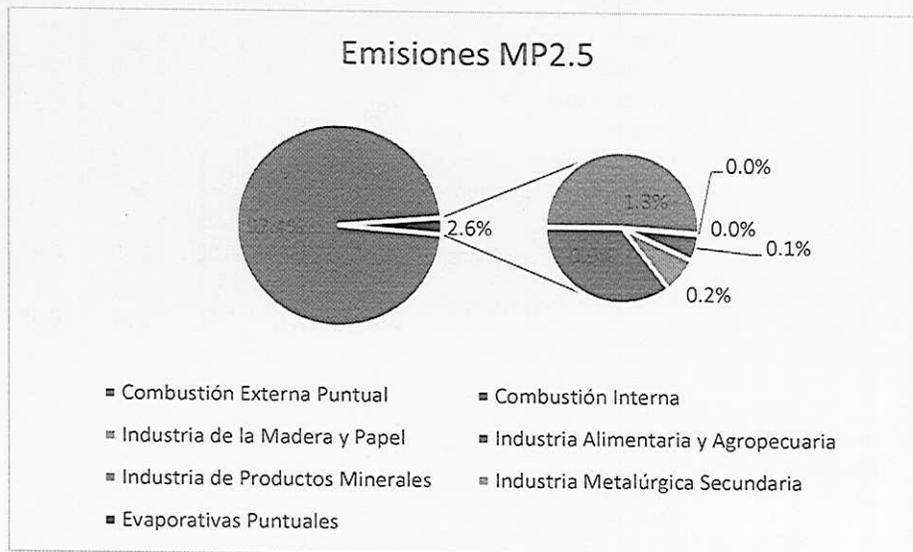


Figura 23. Emisiones MP2.5 por tipología de fuente

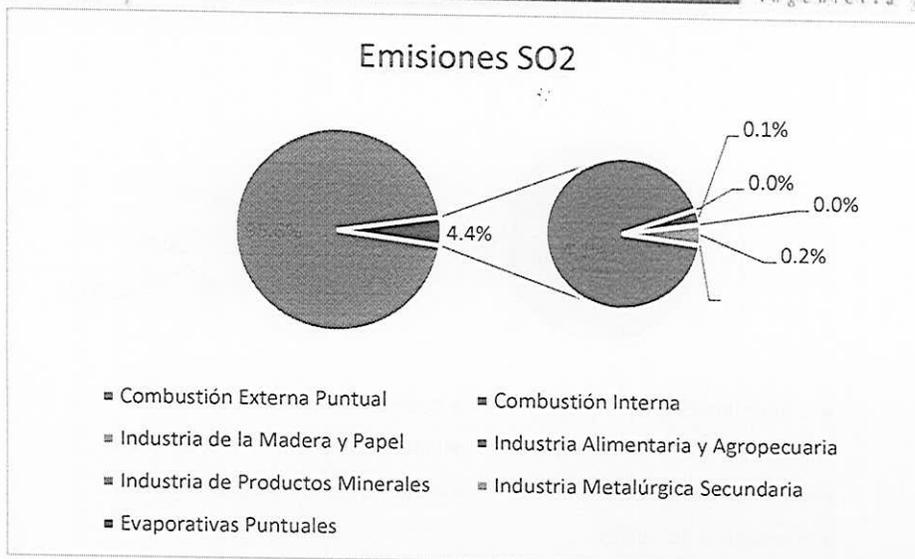


Figura 24. Emisiones SO<sub>2</sub> por tipología de fuente

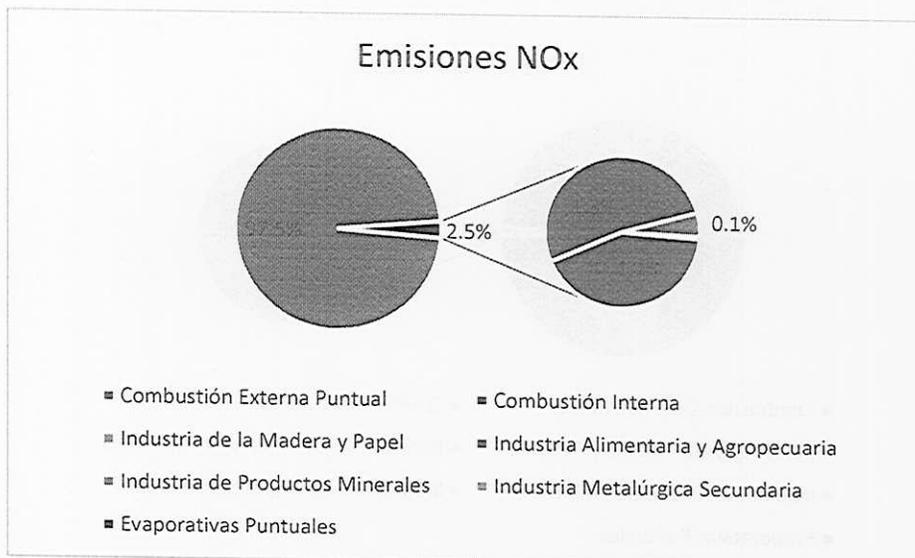


Figura 25. Emisiones NO<sub>x</sub> por tipología de fuente

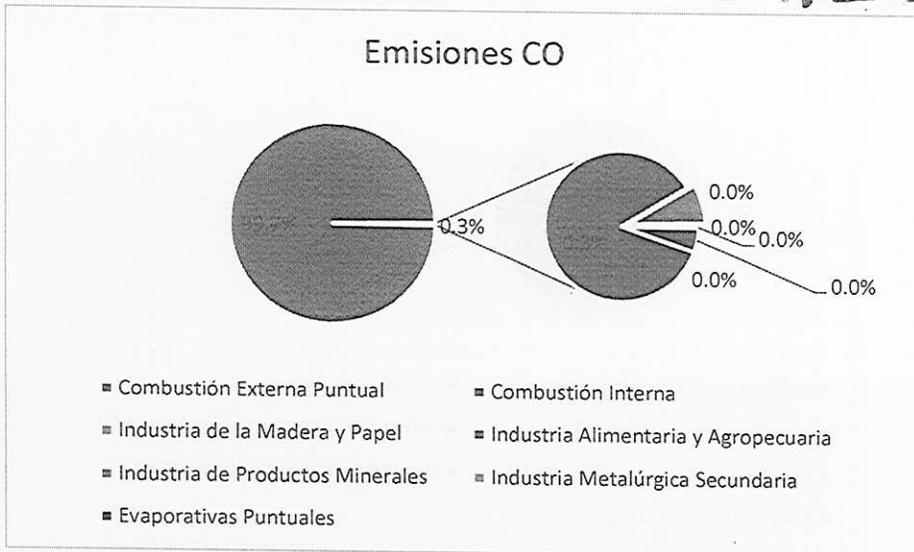


Figura 26. Emisiones CO por tipología de fuente

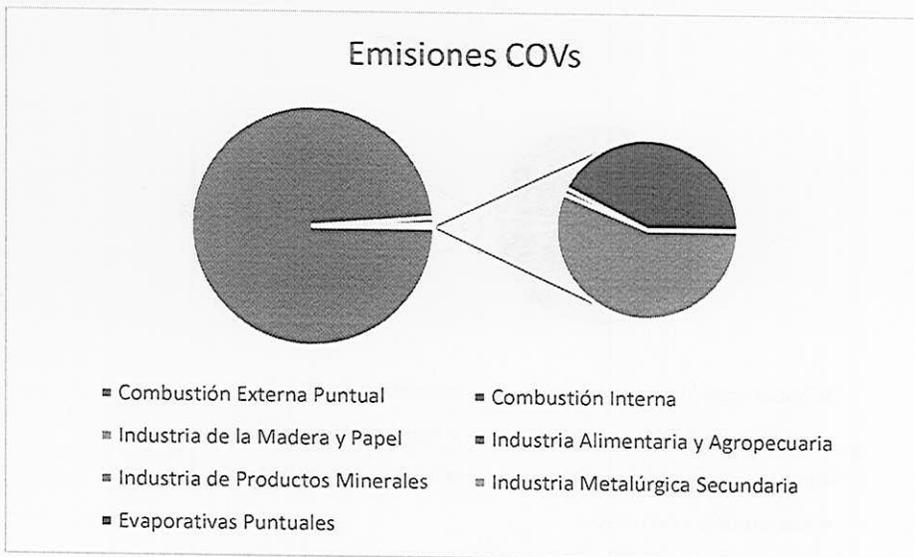


Figura 27. Emisiones COVs por tipología de fuente

## 5 CONCLUSIONES

- De acuerdo al catastro de fuentes, se aprecia el 67,1% de las fuentes puntuales pertenecen a la sub-categoría de combustión externa puntual y dentro de ésta, la mayoría corresponde a caldera de calefacción (58,1% del total de las fuentes).
- La mayoría de las calderas industriales, utilizan leña como combustible (33,3%), en segundo lugar se encuentra la biomasa (29,6%), luego se encuentra el petróleo diesel (14,8%) y el carbón (11,1%), los demás combustibles, gas licuado y aceite residual se utilizan en menor medida.
- De acuerdo al catastro realizado, se pudo constatar que el número más importante de fuentes, corresponde a las calderas de calefacción, de éstas, el mayor porcentaje funciona a Petróleo (50%), estando la leña en segundo lugar (44%) y finalmente gas licuado (6%).
- El sector de los establecimientos educacionales catastrados, poseen en su mayoría calderas a leña y petróleo diesel, siendo de gran relevancia la información declarada por la UACH, la cual tiene 64 fuentes a lo largo de sus distintos campus y edificios, de las cuales 13 funcionan con Leña, por otra parte se tiene que el Instituto Alemán tiene el consumo más alto de leña llegando a superar las 500 Ton/año.
- Las fuentes de tipo industrial, representando el 93,8% de las emisiones totales de MP10, dejando en segundo lugar a las calderas de calefacción con un 7,2%
- Las calderas de calefacción en instituciones de salud aportan con el 1,7 % de las emisiones de MP10, seguido de las calderas en establecimientos educacionales, con un 1,5% y las calderas de edificios con un 1,1%.
- Las Fuentes de Proceso aportan con 12,8 Ton/año de MP10 y 7,4 Ton/año de PM2.5, representando no más del 2,5 % de las emisiones catastradas.
- Las Fuentes de Combustión Externa aportan con un 4 % del SO<sub>2</sub> catastrado, aun cuando este valor pudiera verse incrementado en futuros estudios que consideren bases de datos consolidas de equipos electrógenos.

1530

1530 UTA

El presente informe tiene como finalidad informar a la Junta de Gobierno de la Universidad de la Rioja sobre el desarrollo de las actividades de la Oficina de Asesoramiento Jurídico durante el primer semestre de 1997.

En primer lugar, se hace un resumen de las actividades realizadas durante el primer semestre de 1997, en el ámbito de la asesoría jurídica, la representación y defensa en juicio, y la gestión de recursos humanos.

En segundo lugar, se hace un análisis de los datos estadísticos que se han recopilado durante el primer semestre de 1997, en el ámbito de la asesoría jurídica, la representación y defensa en juicio, y la gestión de recursos humanos.

En tercer lugar, se hace un análisis de los datos estadísticos que se han recopilado durante el primer semestre de 1997, en el ámbito de la asesoría jurídica, la representación y defensa en juicio, y la gestión de recursos humanos.

En cuarto lugar, se hace un análisis de los datos estadísticos que se han recopilado durante el primer semestre de 1997, en el ámbito de la asesoría jurídica, la representación y defensa en juicio, y la gestión de recursos humanos.

En quinto lugar, se hace un análisis de los datos estadísticos que se han recopilado durante el primer semestre de 1997, en el ámbito de la asesoría jurídica, la representación y defensa en juicio, y la gestión de recursos humanos.

En sexto lugar, se hace un análisis de los datos estadísticos que se han recopilado durante el primer semestre de 1997, en el ámbito de la asesoría jurídica, la representación y defensa en juicio, y la gestión de recursos humanos.

En séptimo lugar, se hace un análisis de los datos estadísticos que se han recopilado durante el primer semestre de 1997, en el ámbito de la asesoría jurídica, la representación y defensa en juicio, y la gestión de recursos humanos.