

INFORME FINAL

Inventario de emisiones sector residencial – Región Metropolitana



INVENTARIO DE EMISIONES RESIDENCIALES – REGIÓN METROPOLITANA

Informe final realizado para el Ministerio del Medio Ambiente



Autor:

Ernesto Gramsch
Cristian Yáñez
Camila Ruiz
Abraham González

Realizado por In-Data y Universidad de Santiago de Chile

Versión 2

Santiago de Chile, diciembre de 2023

1. Contenido

1. Introducción	4
2. Objetivos.....	5
2.1 Objetivo general.....	5
2.2 Objetivos específicos	5
3. Caracterización de las fuentes de emisión, energéticos, factores de emisión e información demográfica	6
3.1 Revisión bibliográfica	7
3.1.1 Compilación de información respecto a inventarios de emisiones de contaminantes locales que tengan relación con el sector residencial.....	7
3.1.2 Revisión del Estudio In-Data 2022.....	26
3.1.3 Compilación de información demográfica, económica o similar de utilidad para caracterizar el Sector Residencial en la RMS.....	38
3.1.4 Caracterización de las distintas fuentes de emisión del Sector Residencial, para la RMS y los distintos tipos de combustibles utilizados en este sector.	53
3.1.5 Repositorio digital con la información recopilada.....	59
3.2 Robustez de la metodología Estudio 2022.....	59
3.2.1 Validación de detalles de aplicación de metodología para mejorar y/o validar resultados del Estudio 2022.....	60
3.2.2 Ejecución de la metodología para revisión de resultados del Estudio 2022.	60
4. Resultados del inventario y registro digital	65
4.1 Registro digital de la información.....	65
4.1.1 Niveles de actividad y selección de factores de emisión para el sector residencial y todas sus fuentes identificadas. Identificando además la disgregación territorial que permita definir distintas zonas, tomando como referencia los distintos límites administrativos dentro de la RMS.....	65
4.1.2 Planilla Excel con la compilación de toda la información numérica que permita definir los niveles de actividad asociados al sector residencial y sus distintas fuentes de emisión.	72
4.2 Resultados del inventario de emisiones residenciales RM.....	73
Resumen general	85
Referencias.....	87

2. Introducción

En el transcurso del año 2022, se llevó a cabo un estudio denominado "Catastro piloto e inventario de emisiones de calefactores y cocinas a leña de uso residencial en la Región Metropolitana" (conocido como "Estudio 2022"), comisionado por la Secretaría Regional Ministerial de la Región Metropolitana (SEREMI MA RM). El propósito principal de esta investigación fue establecer los medios necesarios para desarrollar un catastro de calefactores y cocinas a leña en la Región Metropolitana y crear un correspondiente inventario de emisiones.

En el marco de este estudio, se llevó a cabo un catastro piloto de calefactores a leña, limitándose a un conjunto específico de comunas para su ejecución. Durante este proceso, se recopiló información relevante para caracterizar el sector, y se implementaron encuestas con el mismo propósito. Los resultados obtenidos en el Estudio 2022 fueron utilizados para extrapolar la información recopilada en el terreno a toda la Región Metropolitana. Esto posibilitó obtener una estimación preliminar de las emisiones derivadas de calefactores y cocinas a leña en el sector residencial.

Aunque el Estudio 2022 proporcionó una primera evaluación de las emisiones provenientes de la leña y sus derivados en el sector residencial, es crucial expandir el análisis para abarcar otros tipos de energéticos, como los combustibles líquidos y gaseosos. Además, es necesario identificar y tener en cuenta fuentes que no estén directamente vinculadas a la calefacción residencial.

Bajo este contexto es que el presente estudio a través de una compilación la información recabada a través de diferentes estudios y de la robustez de metodologías previamente utilizadas presenta el desarrollo de un inventario de emisiones para el sector residencial de la Región Metropolitana para el año 2022.

Los resultados que se buscan en este estudio son de gran importancia para poder orientar de manera eficiente las futuras medidas de descontaminación en el sector residencial de la Región Metropolitana de Santiago, en particular considerando que está en curso el proceso de actualización del PPDA RMS.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Desarrollar el inventario de emisiones de contaminantes locales del sector Residencial para la Región Metropolitana, para el año 2022.

3.2 Objetivos específicos

1. Realizar un levantamiento bibliográfico que permita caracterizar las distintas fuentes de emisión del sector residencial y los energéticos utilizados, además de factores de emisión, datos demográficos u otros que permitan elaborar el inventario de emisiones del Sector Residencial.
2. Implementar una metodología para robustecer resultados del Estudio Catastro piloto e inventario de emisiones de calefactores y cocinas a leña de uso residencial en la Región Metropolitana.
3. Crear un sistema de registro digital para compilar información de niveles de actividad y factores de emisión asociados al sector residencial.
4. Elaborar el inventario de emisiones del sector residencial para la Región Metropolitana de Santiago al año 2022.
5. Elaborar material para análisis y difusión de los resultados del estudio.

4. Caracterización de las fuentes de emisión, energéticas, factores de emisión e información demográfica

El informe de avance N°1 presenta una caracterización en detalle de las distintas fuentes de emisión y energéticas del sector residencial en la Región Metropolitana. A su vez, contiene información demográfica relevante para el cálculo de las emisiones residenciales y la metodología propuesta para el desarrollo de un inventario de emisiones.

Actividades asociadas al objetivo específico N°1:

- I. **Actividad 1:** Compilar información respecto a inventarios de emisiones de contaminantes locales que tengan relación con el sector residencial, ya sean nacionales o internacionales.
- II. **Actividad 2:** Hacer una revisión del Estudio 2022 para identificar la información existente y útil para el inventario del Sector Residencial en la Región Metropolitana de Santiago (RMS), así como también para identificar posibles aspectos de mejora y/o validación de los resultados y conclusiones de dicho documento.
- III. **Actividad 3:** Compilar información demográfica, económica o similar que sea de utilidad para caracterizar el Sector Residencial en la RMS, ya sea su alcance territorial, niveles de actividad u otros parámetros relevantes para el inventario de emisiones del sector.
- IV. **Actividad 4:** A partir de las actividades anteriores, caracterizar las distintas fuentes de emisión del Sector Residencial, para la RMS. Además, deberá caracterizar, los distintos tipos de combustibles utilizados en este sector.
- V. **Actividad 5:** Elaborar un repositorio digital con la información recopilada en el desarrollo de este objetivo.

Actividades asociadas al objetivo específico N°2:

- I. **Actividad 1:** Realizar al menos 2 reuniones con la contraparte técnica para definir y validar detalles de aplicación de metodología para mejorar y/o validar resultados del Estudio 2022.
- II. **Actividad 2:** Ejecutar metodología para revisión de resultados del Estudio 2022.

Actividades asociadas al objetivo específico N°3:

- I. **Actividad 1:** Realizar al menos una reunión con la contraparte técnica para validar parámetros de niveles de actividad y selección de factores de emisión para el sector residencial y todas sus fuentes identificadas. Identificando además la disgregación territorial que permita definir distintas zonas, tomando como referencia los distintos límites administrativos dentro de la RMS.
- II. **Actividad 2:** Elaborar una planilla Excel, en la cual se pueda compilar toda la información numérica que permita definir los niveles de actividad asociados al sector residencial y sus distintas fuentes de emisión (independiente que la información utilizada pueda ser importada de bases de datos con otros formatos), identificando cuando corresponda las distintas fuentes de información utilizadas para la obtención de los datos o bien cálculos realizados para el ajuste y/o corrección de los mismos.

4.1 Revisión bibliográfica

En este capítulo se presenta un levantamiento bibliográfico de estudios relevantes y sus principales resultados, de los cuales se busca caracterizar las distintas fuentes de emisión del sector residencial y los energéticos utilizados, además de factores de emisión, datos demográficos u otros que permitan elaborar el inventario de emisiones del Sector Residencial.

4.1.1 Compilación de información respecto a inventarios de emisiones de contaminantes locales que tengan relación con el sector residencial.

Actualización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana 2005

Estudio realizado el año 2007 por DICTUC para la Comisión Nacional del Medio Ambiente de la Región Metropolitana de Santiago con el objetivo de hacer una actualización del inventario de emisiones atmosféricas de MP_{10} , $MP_{2,5}$, CO, NO_x , SO_2 , además de presentar una actualización de las metodologías que se utilizan para la estimación de emisiones.

La metodología utilizada en este estudio se basó en tres estudios¹ realizados previamente en la Región Metropolitana por CONAMA RM. En esta metodología se realiza una clasificación de las distintas fuentes, estas son:

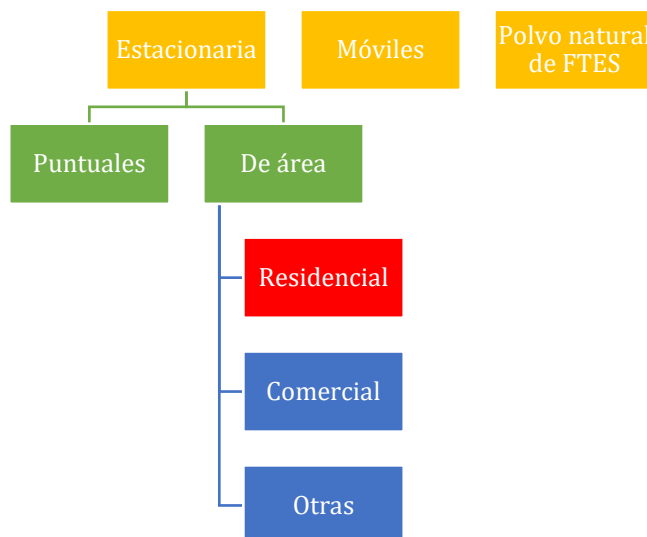


Figura 1. Estructura general del inventario.

Las emisiones residenciales se encuentran dentro de la clasificación de fuentes areales o se área. Las estimaciones se realizan en base al nivel de actividad de la fuente, factor de emisión e Información de variabilidad especial y temporal.

Las emisiones de esta fuente de área se producen al quemar algún tipo de combustible en las residencias particulares, ya sea para los usos de calefacción, calentar agua o la cocción de alimentos. Los combustibles considerados en el estudio para fuentes estacionarias de área residencial son:

- Kerosene
- Gas licuado GLP
- Gas natural GN
- Gas de ciudad- gas propano diluido GPD
- Leña

El estudio considera la distribución espacial de las emisiones a un nivel comunal, en donde considera metodologías para situaciones en que se tiene información de la cantidad de combustible que se consume en cada comuna y situaciones que no

¹ Los estudios son Actualización del Inventario de Emisiones de la Región Metropolitana. Diciembre 1999, Mejoramiento del Inventario de Emisiones de la Región Metropolitana. Diciembre 2000 y Modelo de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos para la Región Metropolitana. Agosto 2004

presentan esta información. Donde no se tiene la información realiza un procedimiento de distribución comunal del consumo en la región usando variables de distribución. Para este último caso, utilizó la encuesta Casen 2003 para determinar ingresos de la población y relacionar el consumo de cada combustible al poder de compra.

Los factores de emisión utilizados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Factores de emisión usados inventario DICTUC 2007.

Combustible	Contaminante	FE - 2005	Combustible	Contaminante	FE - 2005
GLP	TOC	87,47	Kerosene	TOC	298,73
	CO	221,68		CO	599,13
	NO _x	1.090,42		NO _x	2.156,88
	SO ₂	1,4		SO ₂	3.567,06
	MP	33,55		MP	299,57
	NH ₃	3,78 x 10 ⁻³		NH ₃	2,648 x 10 ⁻⁶
GN - GC	TOC	180	Leña	TOC	114,5
	CO	640		CO	126,3
	NO _x	1.500		NO _x	1,3
	SO ₂	10		SO ₂	0,18
	MP	182,8		MP	17,3
	NH ₃	8,34 x10 ⁻³		NH ₃	1,088

De los resultados del estudio, se presenta que las emisiones de material particulado en la zona urbana corresponden al 86% del total de emisiones en la Región Metropolitana considerando solo las emisiones para leña.

Tabla 2. Total de emisiones de Material Particulado para leña, (t/año), año 2005.

Región Metropolitana	PTS	MP ₁₀	MP _{2,5}
Zona urbana	623,47	597,28	580,44
Zona rural	100,04	95,84	93,14
Total Emisiones	723,51	693,12	673,58

Además, el estudio muestra que entre los distintos tipos de calefactores presentados (combustión lenta, modelo insert, Salamandra y Chimenea) es el calefactor de combustión lenta el que emite mayor cantidad de emisiones respecto de los otros modelos. Las emisiones del modelo insert es la segunda que más contribuye a las emisiones, sin embargo el calefactor a combustión lenta emite en promedio un 883% más de todos los contaminantes que el modelo insert.

Tabla 3. Emisión de contaminantes por calefactor (t/año).

Equipo	NO _x	CO	VOC	SO _x	NH ₃
Calefactor combustión lenta	63,06	6.126,21	5.553,85	8,73	52,77

Calefactor modelo insert	7,14	693,25	628,48	0,99	5,97
Salamandra	3,02	293,88	266,42	0,42	2,53
Chimenea	4,34	421,98	382,55	0,6	3,64

En la zona rural, el estudio obtuvo que la mayor cantidad de emisiones corresponden a monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles (COV), lo que corresponde al 98,9% del total de emisiones.

Tabla 4. Emisión de gases para zona rural (t/año) 2005.

	NO _x	CO	VOC	SO _x	NH ₃
Zona rural	7,2	699,7	634,33	1	6,03

Finalmente, y considerando los combustibles utilizados en el sector residencial de la Región Metropolitana, se presenta que la combustión a leña es aquella que emite mayor cantidad de material particulado, seguido por el gas natural. Por otra parte, es la combustión de gas natural y gas licuado los principales emisores de monóxido de carbono y óxidos nitrosos.

Tabla 5. Emisiones de combustión residencial por fuente, escenario 2005 (t/año).

Categoría	MP₁₀	MP_{2,5}	CO	NO_x	VOC	SO_x	NH₃
Combustión de leña residencial	693,1	673,6	8.235	84,8	7.465,6	11,7	70,9
Combustión de gas licuado	18	18	118,9	585,3	46,9	0,8	1,1
Combustión de kerosene	12,2	2,9	48,8	175,8	24,3	290,7	6,2
Combustión de gas natural	42,9	42,9	150,2	352,1	42,3	2,3	1.957,6
Combustión de gas de ciudad	5,8	5,8	20,3	47,7	5,7	0,3	0,1
Total Combustión Residencial	772	743	8.573	1.245	7.584	305	2.036

Actualización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana Escenario 2010

Este estudio realizado el año 2007 por DICTUC corresponde a un inventario de emisiones proyectado a partir del inventario 2005, que considera un crecimiento esperado de las actividades de la RM. Este estudio fue hecho para el mismo mandante (CONAMA).

El estudio utiliza la misma metodología que el inventario anterior, pero presenta diferencias debido a cambios en la tecnologías y usos de vehículos, aunque sin cambios para el sector residencial, por lo que información como contaminantes considerados y factores de emisión no cambiaron.

Este estudio presenta aumentos en el consumo de gas licuado y gas natural y una disminución importante en el consumo de kerosene (-33%).

Tabla 6. Consumos de combustibles años 2005 y 2010 proyectado.

Tipo de combustible	Consumo año 2005	Consumo año 2010	Unidades	Variación
Gas Licuado	303.243	340.799	t/año	12%
Gas de Ciudad	31.781.000	31.124.666	m ³ /año	-2%
Gas Natural	234.756.777	316.339.505	m ³ /año	35%
Kerosene	65.196	43.775	t/año	-33%

Por otro lado, se presenta un aumento de las emisiones de material particulado para leña, tanto en la zona rural como urbana. Este aumento es de un 45% respecto del inventario 2005.

Tabla 7. Total de emisiones de Material Particulado para leña, (t/año), año 2010.

Región Metropolitana	PTS	MP ₁₀	MP _{2,5}
Zona urbana	933,01	893,83	868,62
Zona rural	118,58	113,59	110,39
Total Emisiones 2010	1.051,59	1.007,42	979,01
Variación emisiones totales	45%	45%	45%

Las emisiones por tipo de calefactor presentan similar proporción para PTS, MP₁₀ y MP_{2,5} como se muestra a continuación. El total de emisiones corresponde a un incremento de un 50% según las cifras del previo inventario.

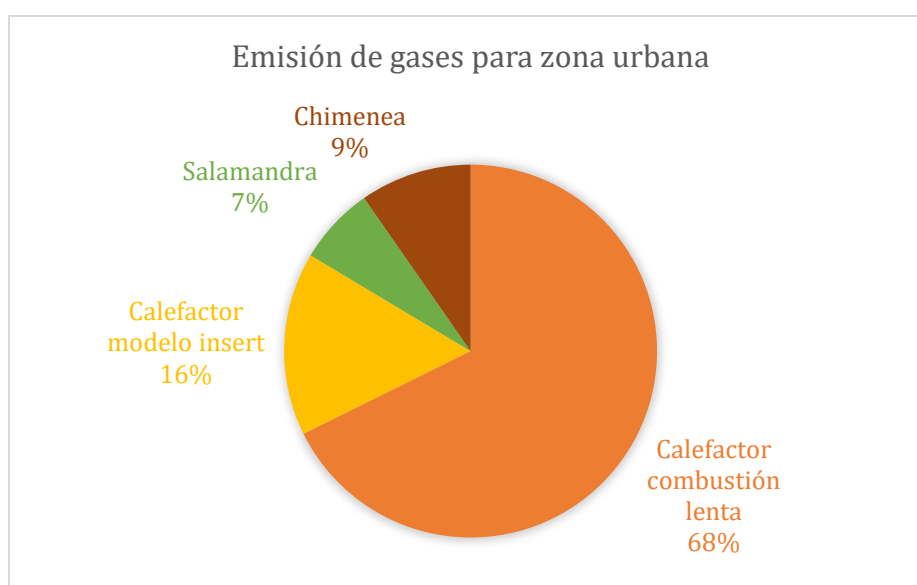


Figura 2. Emisión de gases para zona urbana segregada por tipo de calefacción en t/año 2010.

Tabla 8. Emisiones totales de gases para zona urbana segregada por tipo de calefacción en t/año 2010.

Equipo	PTS	MP ₁₀	MP _{2,5}
Calefactor combustión lenta	631,51	604,99	587,93
Calefactor modelo insert	148,33	142,1	138,1
Salamandra	62,88	60,24	58,54
Chimenea	90,29	86,5	84,06
Total	933,01	893,83	868,63

Finalmente, las emisiones por combustión residencial se presentan a continuación:

Tabla 9. Emisiones de combustión residencial por fuente, escenario 2010 (t/año).

Categoría	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO	NO _x	VOC	SO _x	NH ₃
Combustión de leña residencial	1.007,4	979,0	12.105,7	124,6	10.974,8	17,3	104,3
Combustión de gas licuado	20,2	20,2	133,6	657,7	52,7	0,9	1,3
Combustión de kerosene	8,2	2,0	32,8	118,0	16,4	195,2	4,1
Combustión de gas natural	57,8	57,8	202,5	474,5	56,9	3,2	2.638,0
Combustión de gas de ciudad	5,7	5,7	19,9	46,7	5,6	0,3	0,1
Total Combustión Residencial	1.099	1.065	12.495	1.422	11.106	217	2.748

Estos resultados presentan aumentos y disminuciones con el inventario 2005. Aquellos combustibles que incrementan sus emisiones son la leña residencial, gas licuado y gas natural (aproximadamente un 47%, 13% y 35% respectivamente en cada contaminante). Por otro lado, el kerosene y el gas de ciudad son los que disminuyen las emisiones (33% para kerosene y para gas natural, disminuye un 2% en todos los contaminantes excepto en NH₃, que disminuye un 20%).

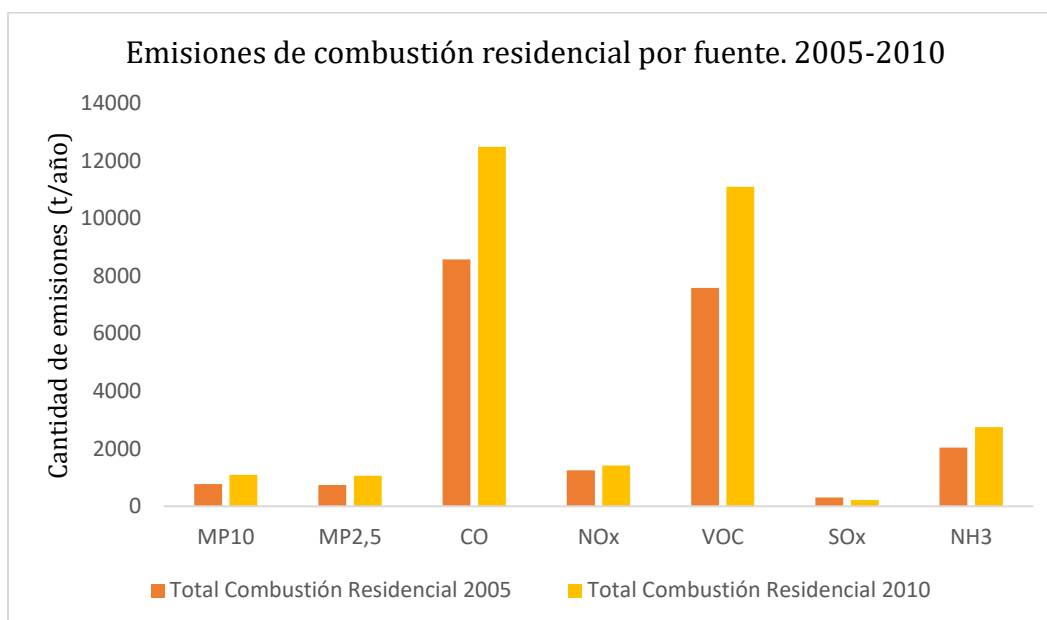


Figura 3. Emisiones de combustión residencial por fuente, inventarios 2005 y 2010 (t/año).

Además, cabe mencionar el crecimiento de la población en la RM, este aumento según las proyecciones del Censo 2022 es de 393.503 habitantes (6.494.356 en el año 2005 y 6.887.859 habitantes para el año 2010).

Propuesta de medidas para el uso eficiente de la leña en la región metropolitana de Santiago

Estudio desarrollado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) el año realizado por la CDT el año 2012 realizado para el Gobierno Regional Metropolitano de Santiago. Este estudio se hizo con el objetivo de identificar y evaluar medidas que sirvan para un uso eficiente de la leña en la Región Metropolitana.

En el desarrollo de este trabajo, CDT realizó una caracterización del uso de la leña. Para esto, identificó los múltiples factores relevantes, tales como proveedores de leña en la RM y viviendas que utilizan este combustible y sus derivados en distintos usos (calefacción y cocina).

Para realizar el catastro de proveedores, el estudio identificó un total de 132 lugares de venta en los que se comercializa leña o derivados y, a través de entrevistas con distintas empresas distribuidoras, determinó que más del 80% de los distribuidores de leña corresponden a PYMEs. De las entrevistas con los distribuidores, se determinó que el 85,1% de la biomasa utilizada es leña, donde un 85,4% de esta corresponde a Eucaliptus.

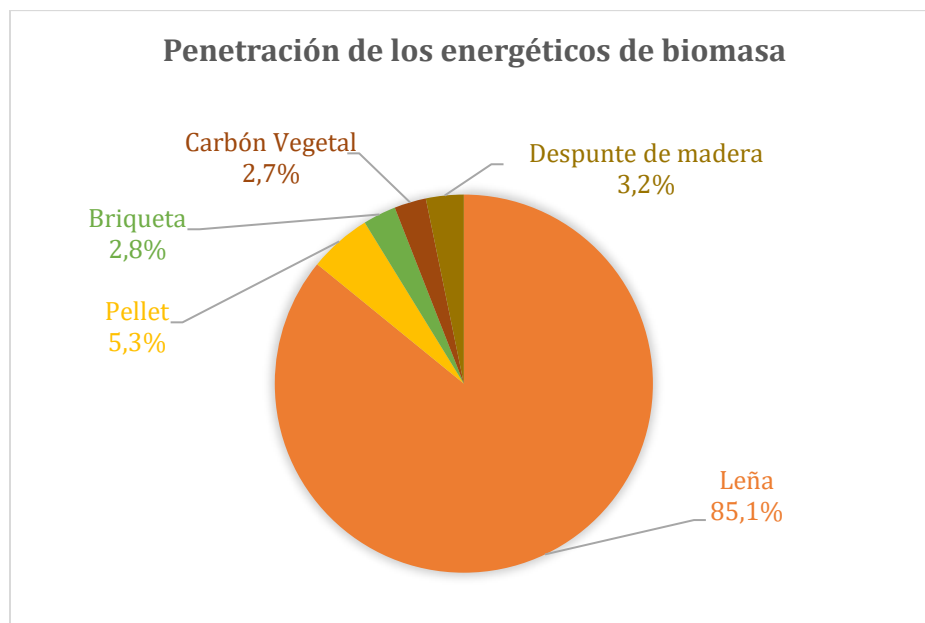


Figura 4. Participación de energéticos de Biomasa en la Región Metropolitana. Fuente: CDT 2012

Tabla 10. Tipo de leña vendida por los proveedores.

Tipo de leña	% de venta
Eucaliptus	85,4
Frutales	31,7
Pino	26,8
Espino	9,8

La caracterización de consumidores de leña se realizó a través de dos encuestas. Del total de casas en la RM, se determinó que el 8,3% de estas utilizan leña o derivados de esta. La menor penetración de consumo de leña se presenta en la provincia de Santiago, en donde dicha penetración en las comunas se mantiene por debajo del 10%. Por otro lado, en las demás provincias de la RM es común encontrar una penetración de la leña superior al 30%. El uso de leña por comuna se presenta a continuación:

Tabla 11. Uso de leña y derivados en la Región Metropolitana por comuna.

Comuna	Nº de casas	Nº de casas que usa leña y/o derivados	Nº de casas que usa carbón vegetal	% comunal (casas que usan leña y/o derivados y carbón)
Melipilla	34.790	16.240	0	46,7%
Lampa	23.061	7.900	0	34,3%
Talagante	16.861	5.832	658	38,5%

Comuna	N° de casas	N° de casas que usa leña y/o derivados	N° de casas que usa carbón vegetal	% comunal (casas que usan leña y/o derivados y carbón)
Maipú	124.600	4.980	0	4,0%
Colina	21.265	4.495	435	23,2%
Paine	20.735	4.260	0	20,5%
Padre Hurtado	15.269	4.180	0	27,4%
San J. de Maipo	6.084	3.910	0	64,3%
Las Condes	26.024	3.900	0	15,0%
Puente alto	128.338	3.853	2.567	5,0%
Isla de Maipo	10.640	3.741	329	38,3%
Til-Til	6.026	3.616	239	64,0%
Peñaflor	18.542	3.349	371	20,0%
Curacaví	9.924	3.332	428	37,9%
Buin	22.836	2.865	0	12,5%
La Florida	90.426	2.700	0	3,0%
Pudahuel	55.494	2.220	1.110	6,0%
Pirque	6.465	2010	0	31,1%
Calera de Tango	6.402	1.878	0	29,3%
Huechuraba	19.757	1.770	0	9,0%
El Monte	8.290	1.620	0	19,5%
María Pinto	4.307	1.580	0	36,7%
Santiago	38.986	1.560	0	4,0%
Lo Barnechea	18.230	1.470	0	8,1%
Quinta Normal	27.834	1.402	278	6,0%
La Reina	22.907	1.140	0	5,0%
El Bosque	38.029	1.150	380	4,0%
Peñalolén	55.271	1.110	0	2,0%
Vitacura	12.164	1.080	0	8,9%
Quilicura	34.757	1.050	0	3,0%
San Bernardo	49.086	990	0	2,0%
La Cisterna	24.115	960	0	4,0%
Cerro Navia	31.975	960	0	3,0%
San Pedro	3.597	900	0	25,0%
Alhué	2.116	893	0	42,2%
Recoleta	36.057	720	0	2,0%
San Miguel	17.841	720	0	4,0%
Lo Prado	16.676	660	0	4,0%
Renca	32.576	664	326	3,0%
Conchalí	30.188	600	0	2,0%

Comuna	N° de casas	N° de casas que usa leña y/o derivados	N° de casas que usa carbón vegetal	% comunal (casas que usan leña y/o derivados y carbón)
San Ramón	19.307	570	0	3,0%
La Granja	28.896	570	0	2,0%
Ñuñoa	24.839	510	0	2,1%
Macul	23.553	480	0	2,0%
San Joaquín	22.029	450	0	2,0%
Lo Espejo	20.150	407	403	4,0%
La Pintana	38.091	390	0	1,0%
Pedro A. Cerda	24.963	240	0	1,0%
Independencia	16.902	180	0	1,1%
Cerrillos	15.168	150	0	1,0%
Estación Central	28.002	0	0	0,0%
Providencia	4.907	0	0	0,0%
Total RM	1.435.348	112.207	7.524	8,3%

De los resultados obtenidos para las emisiones de material particulado por leña, el estudio obtuvo que el total fue de 2.643 t/año. De entre todas las provincias, Santiago es la que más emite, con un total de 739 toneladas, lo que corresponde a un 27,9% del total de emisiones emitidas en la región. Sin embargo, se observa que las comunas con mayor penetración de leña corresponden a comunas que no pertenecen a la provincia de Santiago, siendo las comunas de Melipilla, Lampa y Talagante las que más emiten con 309, 283 y 225 (t/año) respectivamente.

Tabla 12. Emisión total por consumo de leña y sus derivados en la R.M. por provincia (t/año).

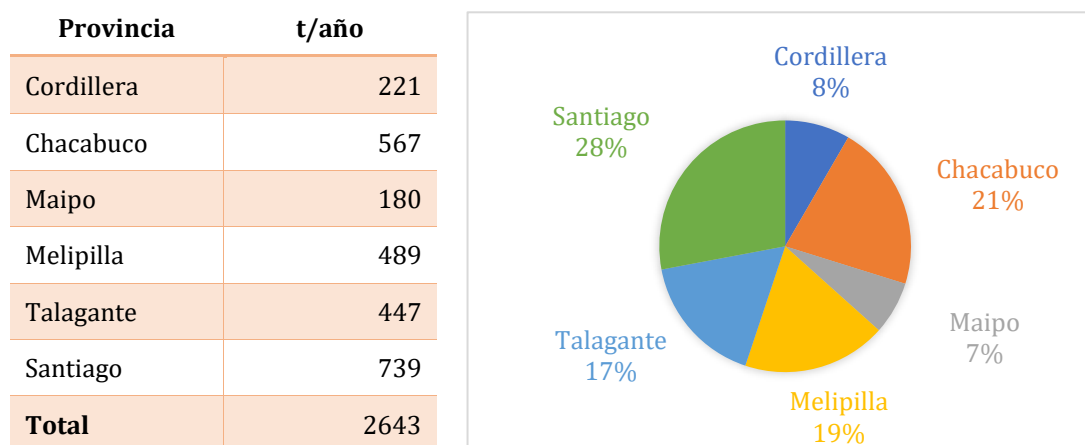


Tabla 13. Emisión total por consumo de leña y sus derivados en la R.M. por comuna (t/año).

Comuna	t/año	%	Comuna	t/año	%
Alhué	10	0,4%	María Pinto	43	1,6%
Buín	79	3,0%	Melipilla	309	11,7%
Calera de Tango	28	1,1%	Ñuñoa	10	0,4%
Cerrillos	2	0,1%	Padre Hurtado	66	2,5%
Cerro Navia	30	1,1%	Paine	57	2,2%
Colina	137	5,2%	Pedro A. Cerda	4	0,2%
Conchalí	12	0,5%	Peñaflor	40	1,5%
Curacaví	73	2,8%	Peñalolén	15	0,6%
El Bosque	18	0,7%	Pirque	37	1,4%
El Monte	26	1,0%	Pudahuel	62	2,4%
Huechuraba	26	1,0%	Puente Alto	88	3,3%
Independencia	3	0,1%	Quilicura	12	0,5%
Isla de Maipo	90	3,4%	Quinta Normal	38	1,5%
La Cisterna	22	0,8%	Recoleta	9	0,3%
La Florida	32	1,2%	Renca	17	0,6%
La Granja	9	0,3%	San Bernardo	16	0,6%
La Pintana	5	0,2%	San Joaquín	8	0,3%
La Reina	19	0,7%	San José de Maipo	96	3,6%
Lampa	238	9,0%	San Miguel	19	0,7%
Las Condes	70	2,7%	San Pedro	54	2,1%
Lo Barnechea	40	1,5%	San Ramón	12	0,4%
Lo Espejo	10	0,4%	Santiago	36	1,4%
Lo Prado	20	0,7%	Talagante	225	8,5%
Macul	10	0,4%	Til-Til	192	7,2%
Maipú	157	5,9%	Vitacura	12	0,4%

Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana

Inventario de emisiones desarrollado por la Universidad de Santiago el año 2014 para el Ministerio del Medio Ambiente. El objetivo del estudio es realizar una actualización del inventario de emisiones, así como también realizar una sistematización de este. Este estudio es para emisiones emitidas el año 2012 y las emisiones atmosféricas que considera son MP₁₀, MP_{2,5}, CO, NO_x, SO₂, COV, NH₃, CO₂ equivalente y carbono negro.

El estudio destaca la incorporación de innovaciones, específicamente las de utilizar el sistema computacional Airviro, aplicación de una metodología top down además de una validación de las emisiones a través de un modelo de dispersión.

Para realizar el inventario, el estudio propuso una metodología con tres modelos. En particular para fuentes de área, se utilizó el modelo Gaussiano de Airviro (a nivel comunal) y un modelo fotoquímico MATCH. Sin embargo, estos modelos no realizan simulaciones exclusivas para fuentes residenciales, el modelo Gaussiano considera fuentes móviles, residenciales y de energía, mientras que el modelo MATCH considera todas las fuentes.

Para el modelo de Gauss utilizó información meteorológica de la estación MACAM La Paz/Independencia. Resultados de las simulaciones para combustión residencial de leña y fuentes areales de material particulado $MP_{2,5}$ se muestran a continuación:

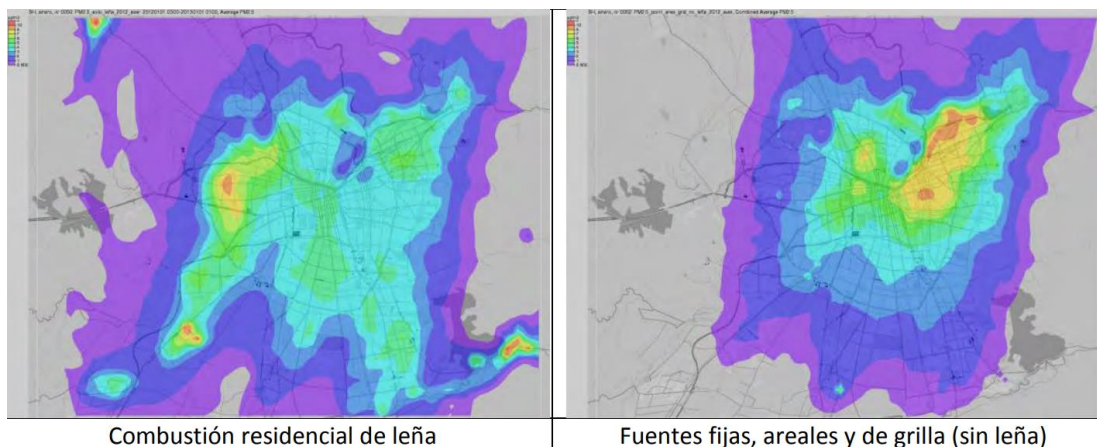


Figura 5. Contribuciones de $MP_{2,5}$ promedio al año 2012 por combustión residencial de leña y por fuentes fijas, de área y de grilla (sin leña). Fuente: USACH (2014). Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana.

Para las fuentes residenciales, los combustibles considerados son

- Leña
- Parafina o kerosene
- Gas licuado GLP
- Gas natural GN
- Gas de ciudad – gas propano diluido GDP

El inventario considera el mismo nivel de actividad para todas las comunas, pero que depende del artefacto. Estos niveles de actividad se obtuvieron a través de los resultados del estudio *Propuesta de Medidas para el Uso Eficiente de la Leña en la Región Metropolitana de Santiago* elaborado el año 2012 por la CDT. El consumo por artefacto se muestra a continuación:

Tabla 14. Consumo promedio anual de leña por artefacto en la RM.

Artefacto	Consumo anual (kg)
Salamandra	1.256
Simple	1.301
Templador	1.315
Chimenea	3.584
Pellet	1.345
Otros	1.724
Cocina	2.762

Presenta además consideraciones sobre el tipo de leña, la humedad de esta y el tiraje del calefactor con modificadores que dependen de estas variables aplicadas a través de un factor multiplicativo. El factor multiplicativo para la humedad de la leña tiene valores entre 0,83 y 2, para porcentajes de humedad entre el 10 y 50%. Considera tres factores multiplicativos para el tiraje abierto, medio y cerrado.

Tabla 15. Factores multiplicativos asociados a la operación de la estufa.

Humedad (%)	Factor
10	0,83
20	1
30	1,25
40	1,58
50	2

Tabla 16. Factores multiplicativos asociados a la operación de la estufa.

Tiraje de la estufa	Factor
Abierto	1
Medio	2
Cerrado	3

Tabla 17. Factores multiplicativos asociados al tipo de leña.

Tipo de leña	Factor
Pino o Eucaliptus, podas	1
Dura (espino)	0,87
Papeles, cartones, ramas pequeñas, hojas	3
Despunte, aserrín	3

Este estudio presenta además un detalle de los distintos modelos de estufas y calefactores de combustión a leña, lo que es relevante para el presente inventario. Los factores de emisión fueron obtenidos de AP-42 y si estos no contienen toda la variedad de calefactores, el estudio utilizó los mismos factores de emisión para

artefactos similares. Los factores de emisión por estufas residenciales son los utilizados por el Inventario de emisiones 2005 en la Tabla 1.

Los diferentes artefactos así como los factores de emisión para cada contaminante se muestran a continuación:

Tabla 18. Factores de emisión provenientes de la quema de leña. Fuente: AP-42.

Artefacto	Factor de emisión (g/kg)							
	MP ₁₀	CO	NO _x	COV	SO _x	NH ₃	CO ₂	CH ₄
Salamandra	15,3	126,3	1,3	115	0,18	1,1	1.700	9,8
Estufa simple	15,3	115,4	1,3	26,5	0,18	1,1	1.700	9,8
Estufa doble entrada	9,8	115,4	1,3	26,5	0,18	1,1	1.700	9,8
Chimenea hogar abierto	17,3	126,3	1,4	115	0,18	1,1	1.700	9,8
Chimenea hogar cerrada	9,8	115,4	1,3	26,5	0,18	1,1	1.700	9,8
Caldera a leña	9,8	126,3	1,4	115	0,18	1,1	1.700	9,8
Estufa a pellet	2,1	115,4	1,3	26,5	0,18	1,1	1.700	9,8
Cocina a leña	15,3	126,3	1,4	115	0,18	1,1	1.700	9,8

La información de la caracterización de las viviendas fue obtenida del Estudio CDT 2012. De este, los datos obtenidos corresponden a:

- Consumo de leña en la Región Metropolitana, que muestra los kilogramos por año de consumo en todos los equipos en cada comuna.
- Número de equipos de leña en la Región Metropolitana por comuna.
- Emisiones de material particulado (MP) y monóxido de carbono (CO) en cada comuna diferenciado por tipo de estufa.

Los resultados obtenidos del inventario para el sector residencial en la Región Metropolitana son los siguientes.

Las emisiones residenciales totales aportan un importante porcentaje al total de contaminantes emitidos en la Región Metropolitana. En particular, los hogares emiten alrededor de un 34% de las emisiones totales de material particulado, solo por debajo de las emitidas por el sector Transporte, sectores que en conjunto son responsables del 77% de las emisiones totales de MP.

Tabla 19. Resumen de las emisiones totales en la región metropolitana (t/año).

Contaminante	Sector residencial	Total RM	% emisiones residenciales
MP ₁₀	2.186	6.578	33%
MP _{2,5}	2.077	5.854	35%
NO _x	1.785	51.386	3%
SO _x	294	2.544	12%
HCt	-	15.148	-

COV	53.550	97.028	55%
CO	20.292	154.795	13%
CH ₄	1.626	89.697	2%
NH ₃	193	35.702	1%
CO ₂	281.988	13.127.208	2%

Por otra parte, el uso de leña en los hogares representa casi la totalidad de las emisiones de MP₁₀, MP_{2,5}, CO y CH₄. El estudio muestra que sólo la combustión a leña emite más de 318.000 toneladas de distintos contaminantes al año, lo que representa un 87,5% de la masa total de emisiones liberadas en la RM.

Tabla 20. Emisiones de las fuentes residenciales (t/año).

Sector	Emisiones de Contaminantes (t/año)								
	MP ₁₀	MP _{2,5}	NO _x	SO _x	COV	CO	CH ₄	NH ₃	CO ₂
Combustión leña	2.086	1982	222	0	10.374	19.882	1.626	183	281.988
Combustión GLP	32	30	1.036	1		211		2	
Combustión GN	42	40	344	2		147		0	
Gas de ciudad	1	0,95	7	0		3		0	
Combustión parafina	25	24	176	291		49		8	
Solventes					21.976				
Pinturas					9.530				
Fugas de GLP					11.670				
Total Residencial	2.186	2077	1.785	294	53.550	20.292	1.626	193	281.988

Caracterización y catastro de parrillas, hornos de barro y carros ambulantes para uso comercial que utilicen leña y sus derivados en la RMS

Estudio elaborado el año 2022 por In-Data en conjunto con la Universidad de Santiago e INGEA para el Ministerio del Medio Ambiente el cual tiene por objetivo crear medios habilitantes para la elaboración de un catastro de parrillas, hornos de barro y carros ambulantes en el uso comercial que utilizan leña o sus derivados y la elaboración de un catastro de emisiones.

Para el desarrollo del estudio, la metodología utilizada constó de tanto búsqueda bibliográfica a través de encuestas, estadísticas e inventarios de emisiones, así como también de un levantamiento en terreno de información.

El levantamiento de información en terreno fue realizada a través de encuestas a distintos agentes, los que se presentan clasificados como:

- Restaurantes

- Hornos de barro
- Carros ambulantes con parrilla
- Proveedores de parrillas y hornos de barro

Restaurantes

El estudio presenta un levantamiento de información inicial acerca de restaurantes que utilizan leña o derivados en la preparación de alimentos. Para esto se identificaron a través de sitios web que utilizan este tipo de combustible. La búsqueda fue realizada en las comunas de Estación Central, Recoleta, Providencia, Maipú y San Miguel y luego de encuestas presenciales se identificaron 31 restaurantes con consumos de leña y derivados de madera como combustible.

Hornos de barro

Los hornos de barro son utilizados comúnmente para la preparación de alimentos como empanadas y pan. Para la cocción de este tipo de alimentos no existe contacto directo entre el fuego y el producto, por lo que las emisiones emitidas por los hornos de barro son en general debido puramente a la combustión del combustible. En estos sistemas la combustión se produce en una cámara que se encuentra parcialmente cerrada, por lo que su funcionamiento es similar a cocinas a leña o estufas de tipo salamandra.

El levantamiento de información de los hornos de barro se realizó de manera similar a la de restaurantes, sin embargo la zona geográfica analizada fue en las provincias de Cordillera, Maipo, Talagante, Melipilla y Chacabuco. La cantidad de hornos catastrados y entrevistados se presentan a continuación:

Tabla 21. Cantidad de hornos catastrados y encuestados en distintas provincias de la RM.

Provincia	Hornos catastrados	Hornos encuestados
Cordillera	22	15
Maipo	5	1
Talagante	15	4
Melipilla	17	3
Chacabuco	7	1

Carros ambulantes

Para el catastro de carros ambulantes, fueron visitados zonas de la RM reconocidos por la presencia de estos. Las características de estos lugares es que son de alto tráfico peatonal, como el centro de Santiago, cercanías a estaciones de Metro y

lugares con alto comercio. Finalmente, fueron encuestados un total de 33 dueños de carros ubicados en la comuna de Estación Central.

Factores de emisión utilizados

Los factores de emisión para parrillas en restaurantes se pueden encontrar en función de la masa de carne cocinada. Los valores utilizados en el estudio se presentan a continuación^{2 3}:

Tabla 22. Factores de emisión parrillas restaurantes en función de la masa de carne consumida.

	Carbono orgánico	Carbón negro	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO
Emisiones (g/kg)	9,83	0,188	10,01	8,08	7,84

Por otro lado, el estudio obtiene factores de emisión en función del carbón utilizado.

Tabla 23. Factores de emisión parrillas restaurantes en función del carbón utilizado.

	Carbono orgánico	Carbón negro	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO
Emisiones (g/kg)	5,78	0,11	5,88	4,75	4,61

Los factores de emisión utilizados para los hornos de barro y carros ambulantes son los presentados en las siguientes tablas.

Tabla 24. Factores de emisión para hornos de barro.

	Carbono orgánico	Carbón negro	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO
Emisiones (g/kg)	26,5	0,26	15,3	15,3	115,4

Tabla 25. Factores de emisión carros ambulantes.

	NO _x	THC	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO	COV
Emisiones (g/hr)	8,91	11,4	26	20,8	479,8	2,46

Resultados

Para la estimación de las emisiones emitidas por restaurantes con parrillas se clasificó la provincia de Santiago en 4 zonas. Los resultados del uso de parrillas cada

² EMISSIONS FROM STREET VENDOR COOKING DEVICES (CHARCOAL GRILLING). EPA-600/R-99-048, June 1999.

³ McDonald, et al., 2003: McDonald, J.D., B. Zielinska, E.M. Fujita, J.C. Sagebiel, J.C. Chow, and J.G. Watson, "Emissions from Charbroiling and Grilling of Chicken and Beef," J. Air & Waste Management Assoc., vol. 53:185-194, 2003.

una de las comunas se asumieron como representativos de la zona en que se ubica la comuna. Las zonas y sus respectivas comunas son las siguientes:

Tabla 26. Comunas en cada Zona de Santiago.

Zona Norte	Zona Oriente	Zona Poniente	Zona Sur
Recoleta	Providencia	Estación Central	San Miguel
Conchalí	La Florida	Maipú	El Bosque
Huechuraba	La Reina	Cerrillos	La Cisterna
Independencia	Las Condes	Cerro Navia	La Granja
Quilicura	Lo Barnechea	Lo Prado	La Pintana
Renca	Macul	Pudahuel	Lo Espejo
	Ñuñoa	Quinta Normal	Pedro Aguirre Cerda
	Peñalolén		San Joaquín
	Santiago		San Ramón
	Vitacura		

De la estimación de emisiones de restaurantes con parrillas, se encontró que las zonas centro y sur de la provincia de Santiago tienen una mayor cantidad de emisiones con respecto a las zonas norte y oriente. En particular, las emisiones en la zona sur son mayores que las de la zona norte en un 167%.

Tabla 27. Estimación de emisiones de restaurantes con parrilla en Santiago.

Zona	Carbono orgánico (t/año)	Carbón negro (t/año)	MP ₁₀ (t/año)	MP _{2,5} (t/año)	CO (t/año)
Norte	0,49	0,009	0,499	0,403	0,391
Oriente	0,678	0,013	0,689	0,557	0,541
Sur	1,308	0,025	1,331	1,075	1,044
Poniente	1,165	0,022	1,185	0,958	0,929
Total	3,642	0,069	3,705	2,993	2,905
Promedio por Restaurante	0,035	0,001	0,036	0,029	0,028

Tabla 28. Estimación de emisiones de restaurantes con parrilla y todo tipo de combustible en Santiago bajo la suposición de que las emisiones son 3 veces más.

Zona	Carbono orgánico (t/año)	Carbón negro (t/año)	MP ₁₀ (t/año)	MP _{2,5} (t/año)	CO (t/año)
Norte	1,471	0,028	1,496	1,209	1,173
Oriente	2,003	0,038	2,068	1,671	1,622

Sur	3,925	0,0747	3,993	3,225	3,131
Poniente	3,496	0,0665	3,555	2,872	2,788
Total	10,925	0,208	11,114	8,978	8,713
Promedio por Restaurante	0,035	0,001	0,036	0,029	0,028

Para las emisiones de hornos de barro, el estudio presenta un total de 24 hornos encuestados, lo que corresponde al 36% del total de hornos de barro catastrados (66). El inventario presenta el cálculo de emisiones para los 24 hornos encuestados, así como también una estimación para el total catastrados y un análisis de sensibilidad.

Tabla 29. Estimación de emisiones de hornos de barro en las comunas catastradas.

Zona	Carbono orgánico (t/año)	Carbón negro (t/año)	MP ₁₀ (t/año)	MP _{2,5} (t/año)	CO (t/año)
Puente Alto	0,458	0,004	0,264	0,264	1,994
San José de Maipo	0,102	0,001	0,059	0,059	0,443
Calera de Tango	0,024	0	0,014	0,014	0,104
Peñaflor	0,111	0,001	0,064	0,064	0,485
Talagante	0,048	0	0,028	0,028	0,208
Isla de Maipo	0,032	0	0,018	0,018	0,138
San Pedro	0,159	0,002	0,092	0,092	0,692
Alhué	0,398	0,004	0,23	0,23	1,731
Melipilla	0,318	0,003	0,184	0,184	1,385
Tiltil	0,006	0	0,004	0,004	0,028
Lampa	0,038	0	0,022	0,022	0,166
Total	1,693	0,017	0,978	0,978	7,374
Promedio por Horno Barro	0,026	0	0,015	0,015	0,112

Tabla 30. Estimación de emisiones para distinto número de hornos de barro.

Cantidad de hornos	Carbono orgánico (t/año)	Carbón negro (t/año)	MP ₁₀ (t/año)	MP _{2,5} (t/año)	CO (t/año)
66	1,693	0,017	0,978	0,978	7,374
100	2,566	0,025	1,481	1,481	11,173
200	5,131	0,050	2,963	2,963	22,346
300	7,697	0,076	4,444	4,444	33,518

Para el caso de carros ambulantes con parrillas, hubo un total de 59 carros catastrados, de los cuales 33 fueron encuestados. De forma similar, a partir del

cálculo de emisiones para los carros encuestados, el estudio presenta una estimación para el total de carros catastrados, bajo la premisa de que aquellos no encuestados tienen el mismo comportamiento que aquellos que si se encuestaron. Además, el estudio tiene presente que el total catastrado puede no corresponder con la realidad, por lo que presenta un análisis que considera distintas cantidades de carritos que utilizan todo tipo de combustible.

Tabla 31. Estimación de emisiones de carros ambulantes catastrados.

Cantidad de carros	NO _x (t/año)	THC (t/año)	MP ₁₀ (t/año)	MP _{2,5} (t/año)	CO (t/año)	COV (t/año)
59	0,871	1,115	2,543	2,034	46,926	0,241
118	1,743	2,230	5,086	4,069	93,853	0,481
177	2,614	3,345	7,629	6,103	140,779	0,722
236	3,486	4,46	10,172	8,137	187,706	0,962

Tabla 32. Estimación de emisiones de carros ambulantes con todo tipo de combustible. Suponiendo distinto número de carritos.

	NO _x (t/año)	THC (t/año)	MP ₁₀ (t/año)	MP _{2,5} (t/año)	CO (t/año)	COV (t/año)
RM	0,871	1,115	2,543	2,034	46,926	0,241
Promedio por Carrito	0,0148	0,0189	0,0431	0,03448	0,7954	0,00408

Revisión del Estudio In-Data 2022

Catastro de Emisiones de Calefactores y Cocinas a Leña es un estudio realizado por In-Data en conjunto con la USACH el año 2022. Este tiene por objetivo identificar información y crear los medios que permitan la elaboración de un catastro de calefactores y cocinas a leña en la Región Metropolitana y su inventario de emisiones. Para esto el estudio presenta una caracterización de los calefactores, el cual se realizó a través de encuestas en la Región Metropolitana y del estudio de la encuesta Casen 2017 y otros estudios que permitieron conocer el estado de la región respecto del uso y consumo de leña.

Respecto de la evolución en el uso de leña residencial, el estudio presenta una disminución observada entre diferentes fuentes, obteniendo una penetración de leña de un 8,3%, 7,5% y 4,4%. En los años 2012, 2015 y 2017. La información obtenida del año 2017 corresponde a la encuesta Casen del mismo año, que cuenta con 42.601 casos y de entre los estudios considerados posee la mayor muestra.

Evolución de la penetración de la leña en la RM

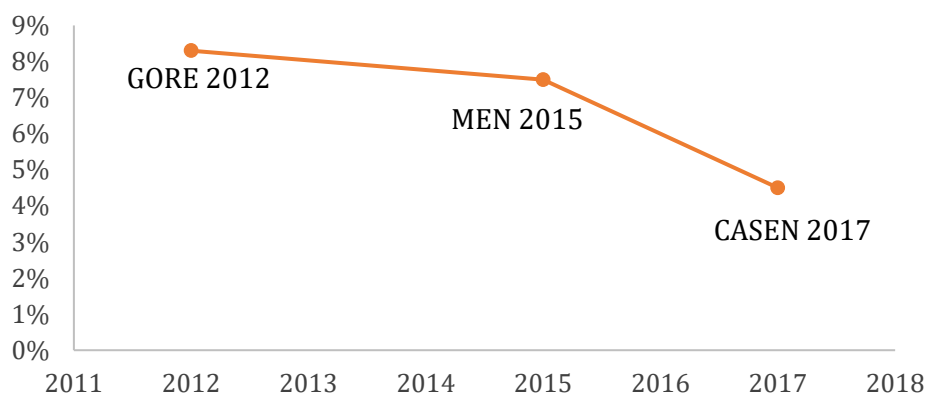


Figura 6. Evolución de la penetración de la leña en la RM. Fuente: Estudio 2022.

Caracterización del uso de leña

Para caracterizar el consumo de leña, se desarrollaron encuestas en dos etapas, y se hizo una clasificación geográfica en dos zonas (A y B). A la zona A pertenece la provincia de Santiago, mientras que a la zona B pertenecen las provincias de Cordillera, Maipo, Chacabuco, Melipilla y Talagante.

En la etapa 1 se realizaron un total de 1.000 encuestas en las distintas provincias de la RM. Esta primera encuesta tuvo por objetivo determinar la penetración de la leña en la RM para usos de calefacción y/o cocina.

Los resultados obtenidos en esta etapa muestran que la mayor penetración se da en la provincia de Chacabuco, en la que hay un 27,5% de hogares que utilizan leña o pellet para usos de calefacción y/o cocina. Estos porcentajes de penetración son respecto del total de viviendas en cada una de las provincias.

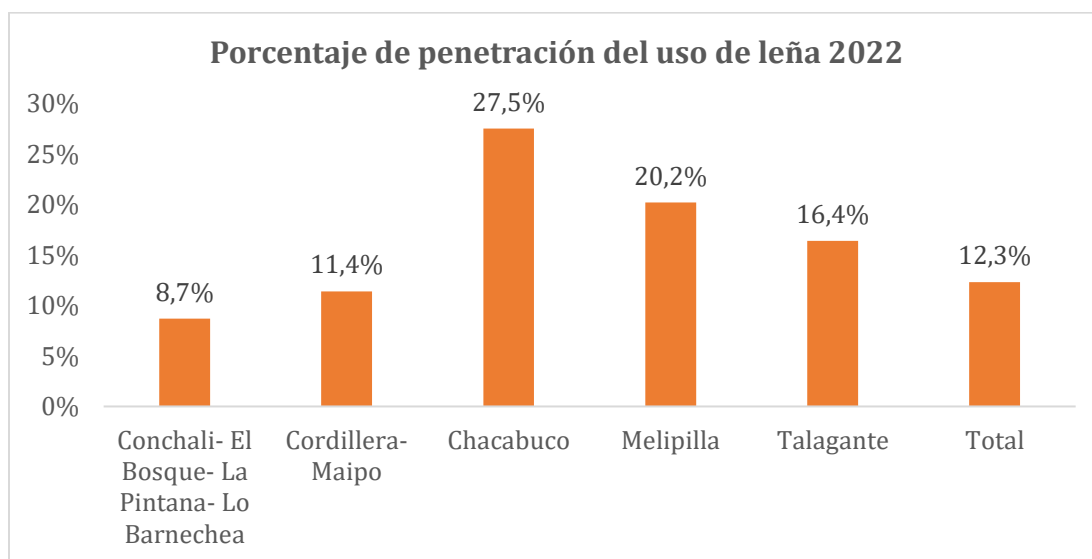


Figura 7. Porcentaje de penetración del uso de leña en las provincias rurales de la RM y algunas en la zona urbana. Año 2022.

Se estimó que existen un total de 889.416 artefactos utilizados para calefacción. De estos, 381.113 corresponden a estufas a gas, que equivale a un 42,8% del total. Le sigue la estufa a parafina y estufa eléctrica con 187.180 y 148.273 artefactos respectivamente. Estos 3 tipos de calefactores representan el 80,5% del total de calefactores. Mientras que la calefacción a leña cubre un 9,4% del total de artefactos. Por otro lado, en el uso de cocinas, los artefactos a leña representan solo el 1,4% del total, en contraste a las cocinas a leña, que son usadas en el 97,0% de los hogares.

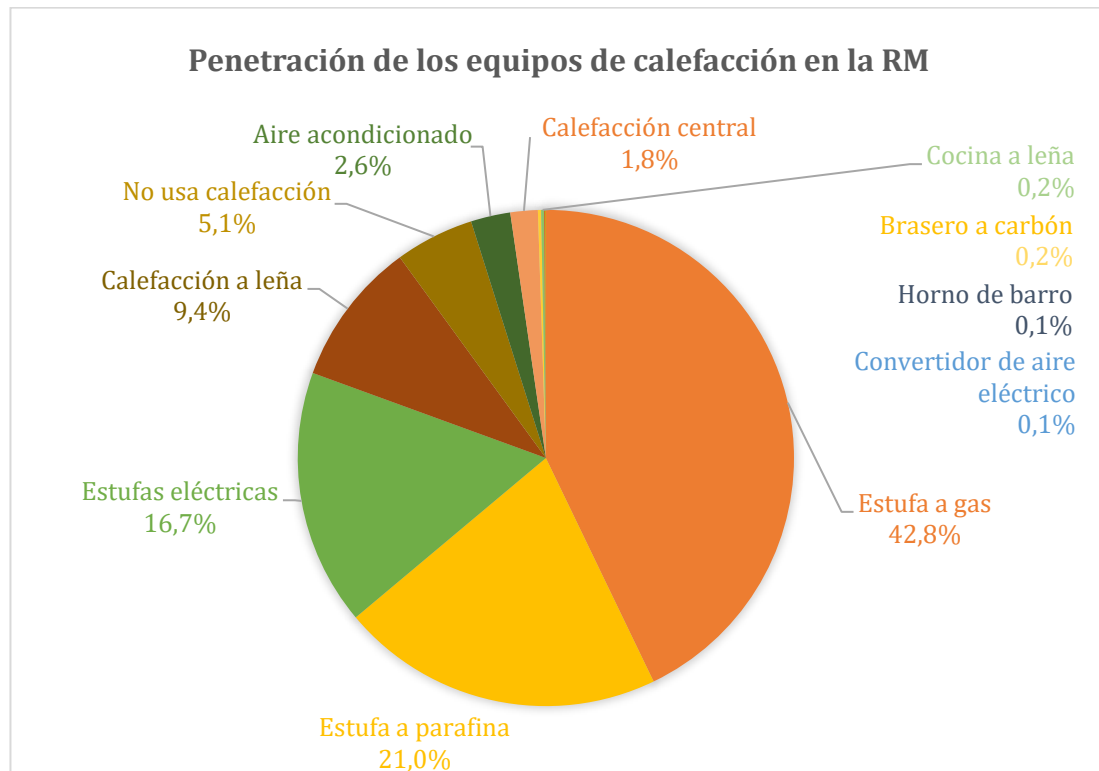


Figura 8. Penetración de los artefactos utilizados para calefacción en la RM. Fuente: Estudio In-Data 2022.

Tabla 33. Penetración de distintos tipos de cocinas según fuente energética.

Artefacto para cocinar	Penetración
Cocina a gas	97,0%
Cocina a leña	1,4%
Cocina eléctrica	1,5%

Durante la etapa 2 se realizaron 300 encuestas, 20 de las cuales se realizaron en la zona A y 280 encuestas en la zona B. El objetivo en esta segunda etapa fue hacer una caracterización del consumo de leña y pellet en calefacción y/o cocina, así como también de los tipos y modelos que se utilizan. Como se vio en estudios anteriores, las estufas de doble cámara son los artefactos a leña más utilizados para calefacción, con una penetración del 43%, teniendo una antigüedad promedio de 6,8 años. El segundo y tercer tipo de estufa más utilizado son la de tipo Salamandra y Hechiza.

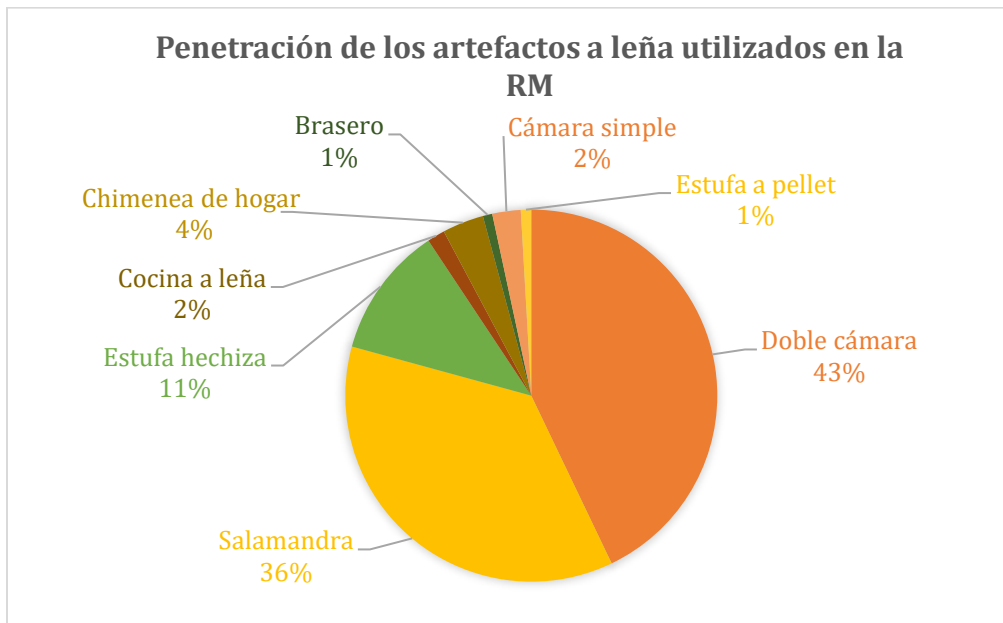


Figura 9. Tipos de artefactos a leña más utilizados en la Región Metropolitana.

El uso promedio de los calefactores al año son un total de 486 horas. Estos artefactos tienen un mayor uso entre los meses de mayo y septiembre, alcanzando el máximo uso en el mes de julio con 160 horas de uso al mes.

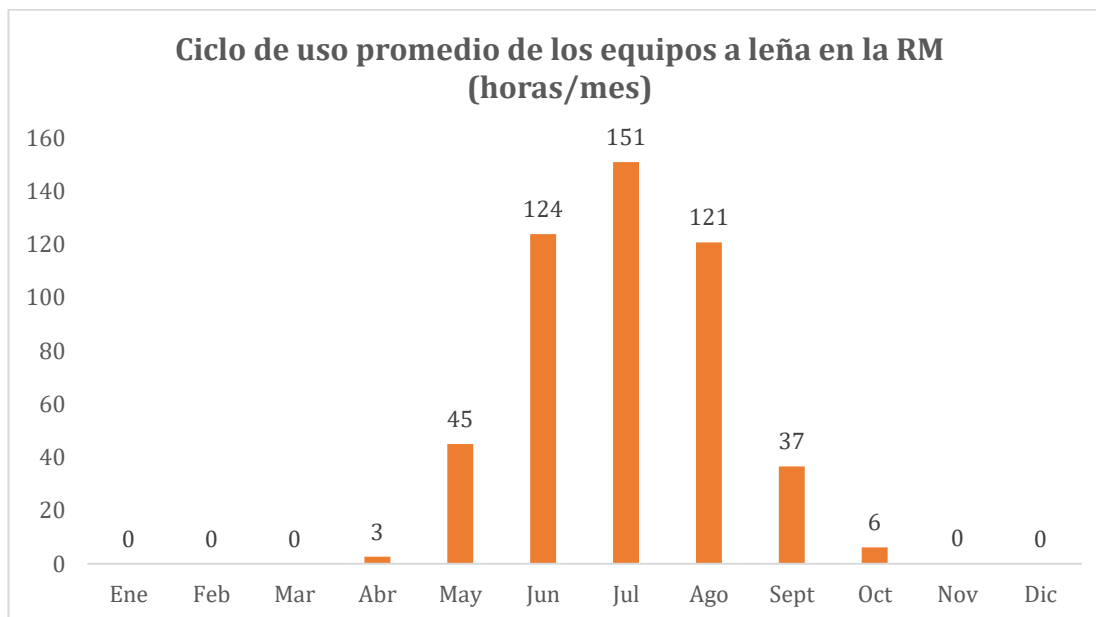


Figura 10. Uso promedio de equipos de calefacción a leña en la Región Metropolitana. Fuente: Estudio 2022.

El estudio presenta las provincias de Cordillera y Maipo unidas como Cordillera-Maipo, son estas dos provincias las que en conjunto presentan una mayor cantidad de masa de leña utilizada por año. Dada la forma en que se presentan los datos en

este estudio, es que muchos de estos, como en este caso, los datos de estas dos provincias se encuentran unidos. El consumo total de leña se estima en cerca de 48.000 t/año en las provincias de la Zona B.

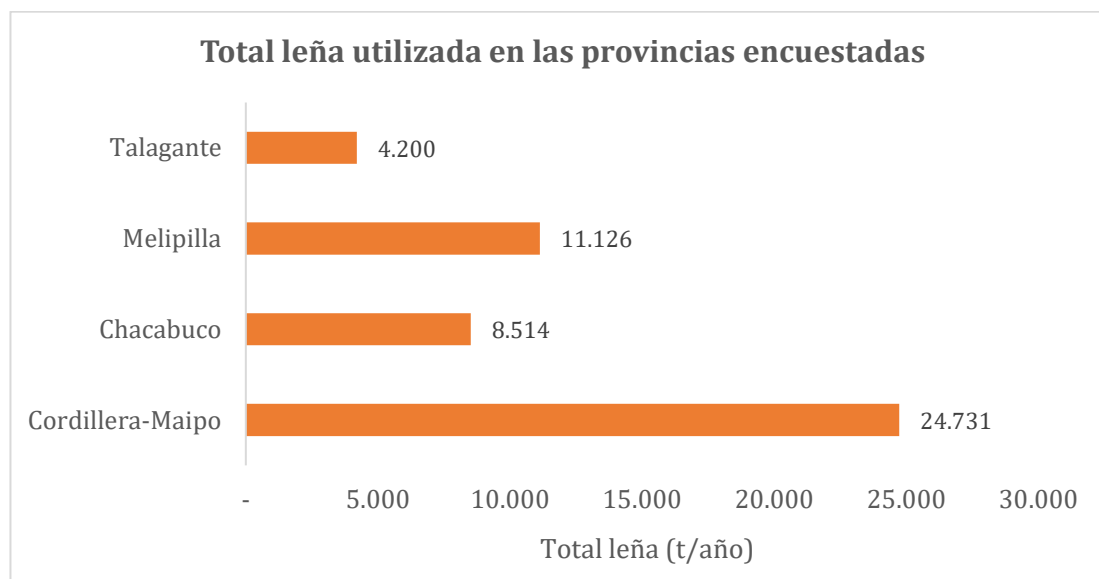


Figura 11. Cantidad total de leña consumida al año en provincias de la zona B. Fuente: Estudio 2022.

A pesar de lo anterior, la provincia de Melipilla es la que indica un mayor consumo por vivienda con un total de 1.091 kg al año.⁴

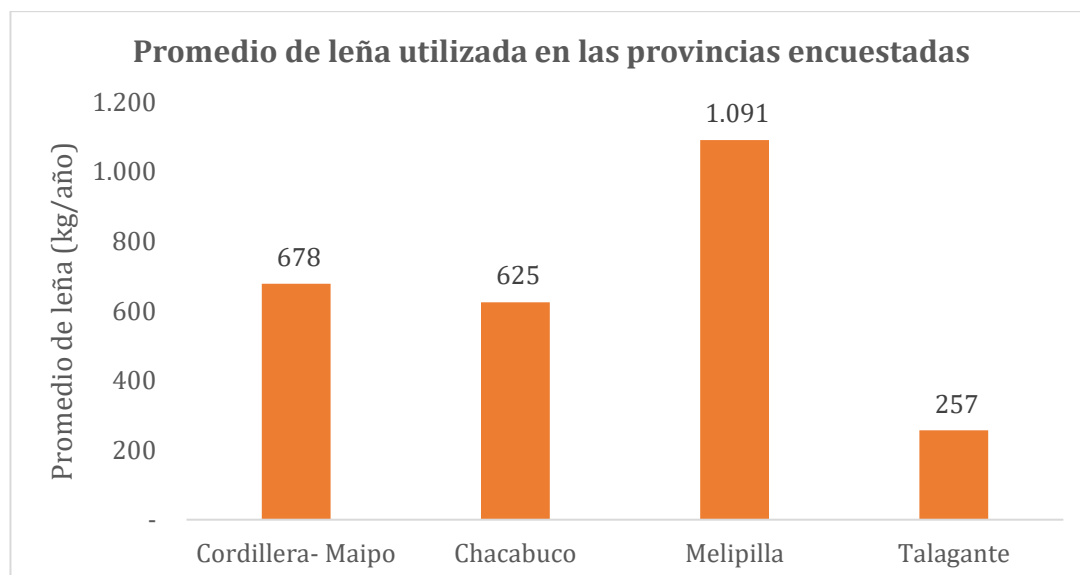


Figura 12. Consumo promedio de leña por vivienda al año en las provincias de la Zona B.

⁴ Esta información se encuentra bajo observación y es motivo de discusión posterior, debido al bajo consumo que presenta la provincia de Talagante en los resultados.

El consumo promedio de leña por equipo en los tres tipos de calefactores más comunes a leña son los siguientes: Doble Cámara: 629 kg/año; Salamandra: 581 kg/año; Estufa Hechiza: 750 kg/año. De entre estas estufas, es la estufa de doble cámara la que utiliza más leña al año, con un total de 21.227 toneladas.

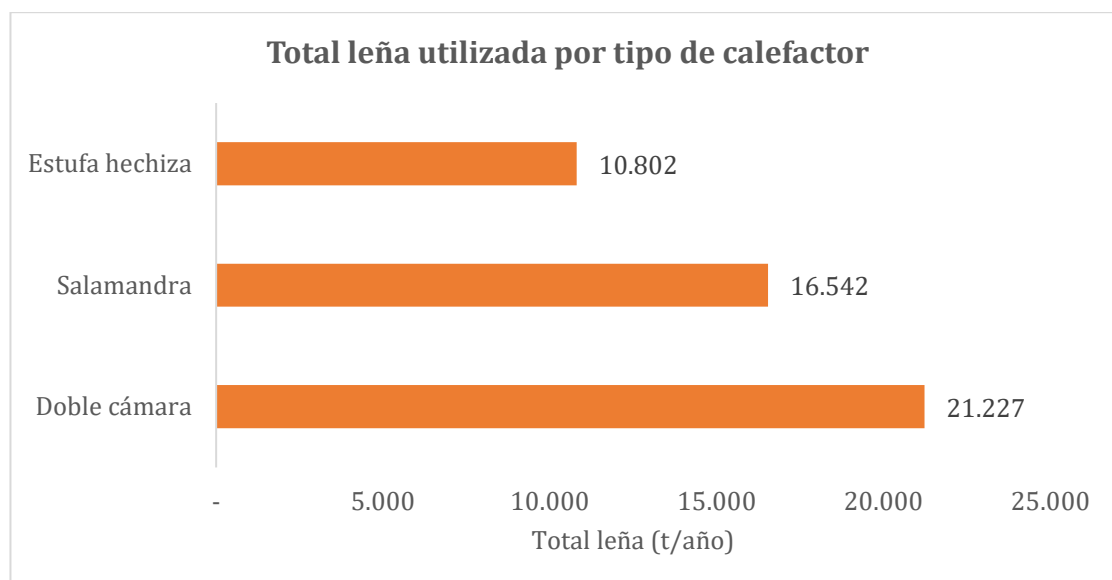


Figura 13. Consumo total de leña al año por tipo de calefactor. Fuente: Estudio 2022.

Finalmente, respecto a las encuestas realizadas en la segunda etapa en la Zona B, el estudio caracteriza la especie de leña que utiliza, así como su certificación y periodo temporal en que es adquirida. Se mantiene la tendencia mostrada de los estudios presentados que muestra un principal consumo de Eucalipto, que representa un consumo del 45% respecto del total. Se presenta además que un 86% de la leña consumida no es certificada y que tres cuartas partes de los consumidores adquiere la leña en el periodo de invierno.

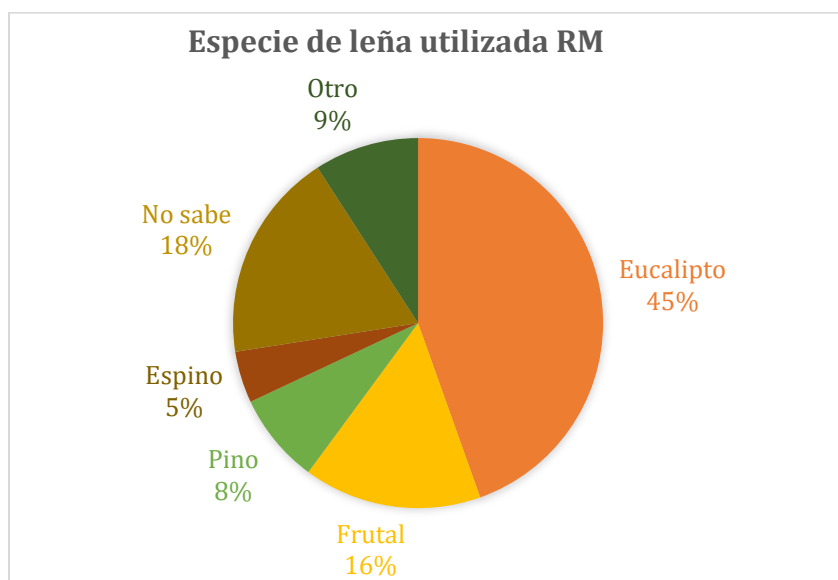


Figura 14. Caracterización por tipo de leña utilizada en la Zona B. Fuente: Estudio 2022.



Figura 15. Porcentajes de certificación de la leña adquirida en la Zona B. Fuente: Estudio 2022.

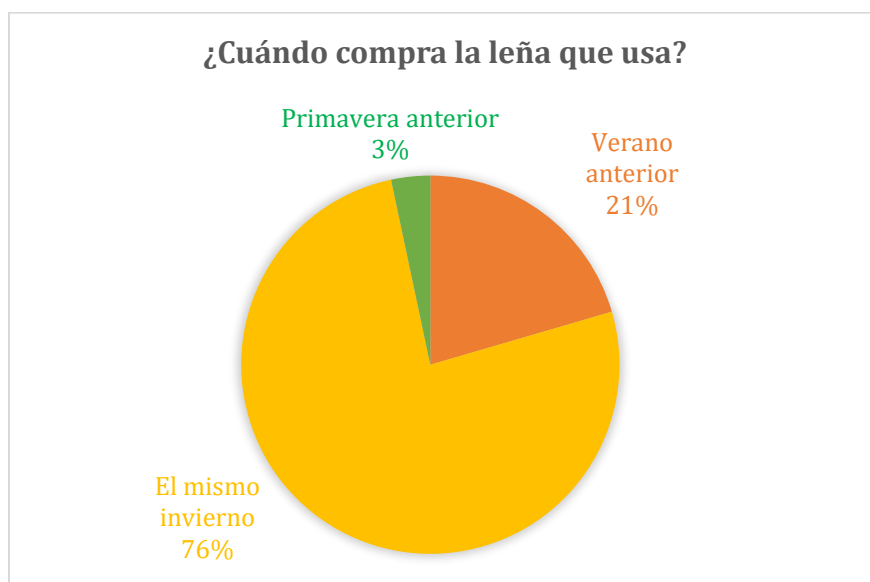


Figura 16. Periodo en que se compra la leña en la Zona B. Fuente: Estudio 2022.

En cuanto al tiraje con que se utiliza la estufa, este cambia durante según sea de día o de noche. Se observa que existe un porcentaje de personas que al llegar la noche cambia el tiraje de estar totalmente abierto a cerrado.

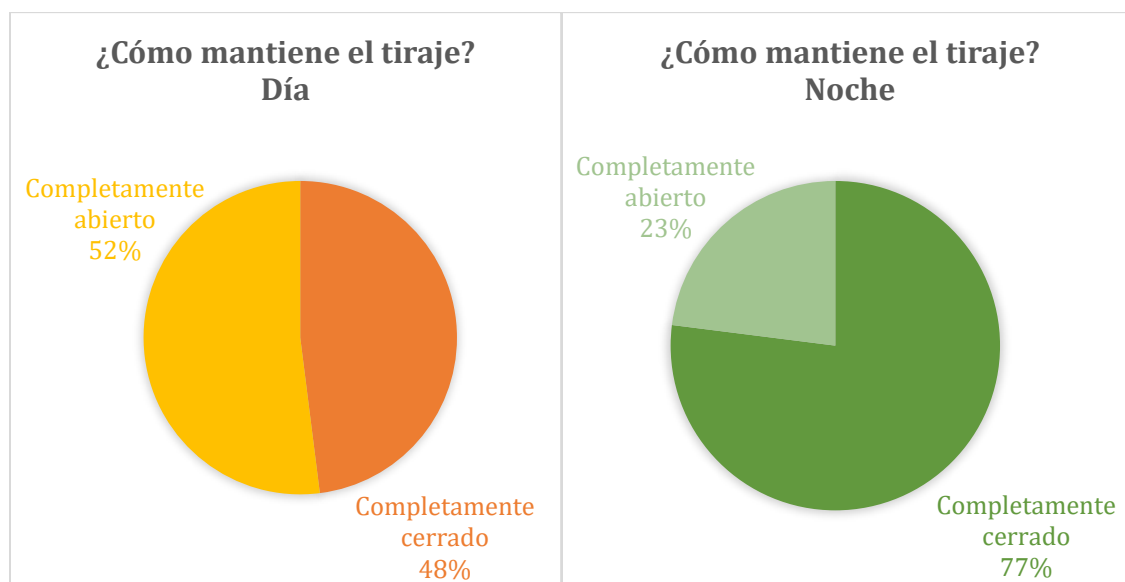


Figura 17. Uso del tiraje en el día y en la noche. Fuente: Estudio 2022.

Para las 20 entrevistas en la Zona A sobre el consumo de pellet, al ser una muestra limitada estos datos no son expandibles para la provincia de Santiago. El estudio menciona que no hay señales importantes de consumo de pellet en la zona A.

Resultados del inventario de emisiones en el estudio In-Data 2022

El inventario de emisiones considera los siguientes modificadores:

- Valor del modificador de humedad igual a 1, lo cual corresponde a un porcentaje de humedad del 20%
- Valor del modificador de operación del artefacto es de 2,1, asociado al tiraje del artefacto.
- Valor del modificador asociado al tipo de leña igual a 1 (por el uso mayoritario del eucalipto).

La mayor cantidad de contaminante es el CO₂, con 181.769 toneladas al año. La principal provincia. Las emisiones de los contaminantes en las distintas provincias se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 34. Emisión de contaminantes en las distintas provincias de la Región Metropolitana. Fuente: Estudio 2022.

Provincia	Emisión de contaminante (t/año)								
	MP	CO	NO _x	COV	SO _x	NH ₃	CO ₂	CH ₄	Carbono negro
Cordillera-Maipo	675	6.121	68	3.657	9	56	85.939	495	21
Chacabuco	389	3.168	35	2.299	5	28	43.712	252	12
Melipilla	267	2.633	29	1.338	4	24	37.412	216	8
Talagante	106	1.029	12	480	2	10	14.706	85	3
Total	1.437	12.951	145	7.773	19	118	181.769	1.048	44

En cuanto a los distintos artefactos para calefacción, a pesar de ser estufa a doble cámara tenga un consumo anual de leña superior a la salamandra en 4.685 t/año, presenta una emisión de compuestos orgánicos volátiles un 276% mayor.

Tabla 35. Cantidad de contaminantes emitidas por artefacto (t/año).

Artefacto	Emisión de contaminante (t/año)								
	MP	CO	NO _x	COV	SO _x	NH ₃	CO ₂	CH ₄	Carbono negro
Doble cámara	445	5.237	59	1.203	8	50	77.147	445	9
Salamandra	684	4.994	55	4.528	7	43	67.223	388	22
Estufa hechiza	254	2.095	23	1.899	3	18	28.198	163	9
Cocina a leña	26	298	3	68	0	3	4.388	25	1

Artefacto	Emisión de contaminante (t/año)								
	MP	CO	NO _x	COV	SO _x	NH ₃	CO ₂	CH ₄	Carbono negro
Chimenea de hogar (abierta)	16	185	2	42	0	2	2.725	16	1
Brasero	1	15	0	3	0	0	215	1	0
Cámara simple	11	127	1	29	0	1	1.872	11	1
Estufa a pellets	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	1.437	12.951	145	7.773	19	118	181.769	1.048	44

Aspectos de mejora para la elaboración de un inventario de emisiones

El equipo consultor, a través de reuniones de trabajo colaborativo con la contraparte técnica, ha encontrado propuestas para robustecer los resultados del Estudio 2022 a fin de ser utilizados en el presente inventario de emisiones. Estas mejoras se encuentran englobadas en 4 ejes principales, que consisten resumidamente en el uso de la Encuesta Casen 2022, la cual es la mejor fuente actualizada de datos disponible actualmente, y la realización de comparaciones de distinto tipo como proceso de validación de la información.



Figura 18. Ejes principales de mejoras en la metodología.

En primer lugar, se propone utilizar la encuesta Casen 2022 para complementar los resultados del Estudio In-Data/Usach. En particular para determinar información demográfica relevante, en especial para conocer la penetración de los distintos combustibles en la Región Metropolitana. Esta encuesta posee preguntas específicas que entregan información acerca de las fuentes energéticas que se utilizan para calefacción, cocina y agua caliente. Estas corresponden a las preguntas:

- v34a. ¿Qué combustible o fuente de energía usa habitualmente para cocinar?
- v34b. ¿Qué combustible o fuente de energía usa habitualmente para calefaccionar?
- v34c. ¿Qué combustible o fuente de energía usa para el sistema de agua caliente?

Esta encuesta además, a diferencia de la Casen 2017, posee factores de expansión provinciales que pueden ser de utilidad para la caracterización del uso de combustibles. A pesar de que existe una advertencia de la representatividad que pueden tener los factores de expansión a nivel comunal, actualmente es la fuente de información más reciente y con mayor cantidad de encuestas disponible.

En segundo lugar, debido a los resultados obtenidos para la provincia de Talagante, es que se propone hacer una revisión de estos datos realizando una comparación entre los últimos estudios, para determinar tendencias de consumo en esta zona y eventualmente realizar correcciones a los valores encontrados en el último inventario.

Lo anterior se propone como una mejora no solamente para el caso de Talagante, si no que este proceso sea aplicado a las demás zonas, de forma que se aplique como una verificación de los datos y observar congruencias o posibles inconsistencias en la información.

Estas comparaciones pueden realizarse no solamente en la misma zona geográfica, sino que también se propone elaborar comparaciones, especialmente en casos de posible incongruencia de los datos (o sospecha) con datos de comunas aledañas.

Para la caracterización de la población, así como incrementos en esta, se recomienda utilizar datos de la última encuesta Censo disponible.

Adicionalmente, como recomendaciones para futuros inventarios, así como para el desarrollo de encuestas se sugiere considerar:

- Para la realización de encuestas, aumentar el tamaño muestral de las encuestas por provincia.
- En encuestas sobre el uso de leña, realizar estas a finales del periodo de invierno podría mejorar la precisión con que la gente recuerda la información.
- Contar con ayuda visual para los encuestados durante la caracterización de los artefactos puede ayudar a las personas a identificar el equipo de calefacción que utiliza.
- Realizar comparaciones con zonas aledañas.

- Considerar cambios en la población.
- Corroboración con última información actualizada de los factores de emisión.

4.1.2 Compilación de información demográfica, económica o similar de utilidad para caracterizar el Sector Residencial en la RMS.

Caracterización de los combustibles o fuentes de energía utilizada para cocinar

La encuesta Casen 2022 en su pregunta v34a permite una identificación de las distintas fuentes energéticas que se utilizan para cocinar. Los resultados que presenta son variados entre las distintas provincias, aunque si presenta una clara preferencia en los hogares para el uso de gas licuado, teniendo una penetración del 69% a nivel regional. Sin embargo, se debe mencionar que la provincia de Santiago presenta una mayor variación en los energéticos usados, en particular aparece en esta el uso de la electricidad en la cocina, la cual tiene una representación mínima en el resto de las provincias.

Tabla 36. Uso de distintas fuentes energéticas para cocinar. Elaboración propia. Fuente: Casen 2022.

v34a. ¿Qué combustible o fuente de energía usa habitualmente para cocinar?

Provincia	1. Gas licuado (cilindro o tanque individual)	2. Gas por red (de cañería)	3. Parafina o petróleo	4. Carbón, leña o derivados	5. Electricidad	7. No usa combustible o fuente de energía	8. No tiene sistema
Santiago	1.342.480	548.156	2.568	782	266.726	2.035	1.419
Cordillera	202.082	28.343	528	200	1.499	594	1.002
Chacabuco	99.867	6.663	474	1.166	237	0	98
Maipo	165.030	11.537	930	149	480	350	0
Melipilla	73.854	262	0	755	0	0	211
Talagante	107.003	1.818	447	185	182	0	250
Total	1.990.316	596.779	4.947	3.237	269.124	2.979	2.980

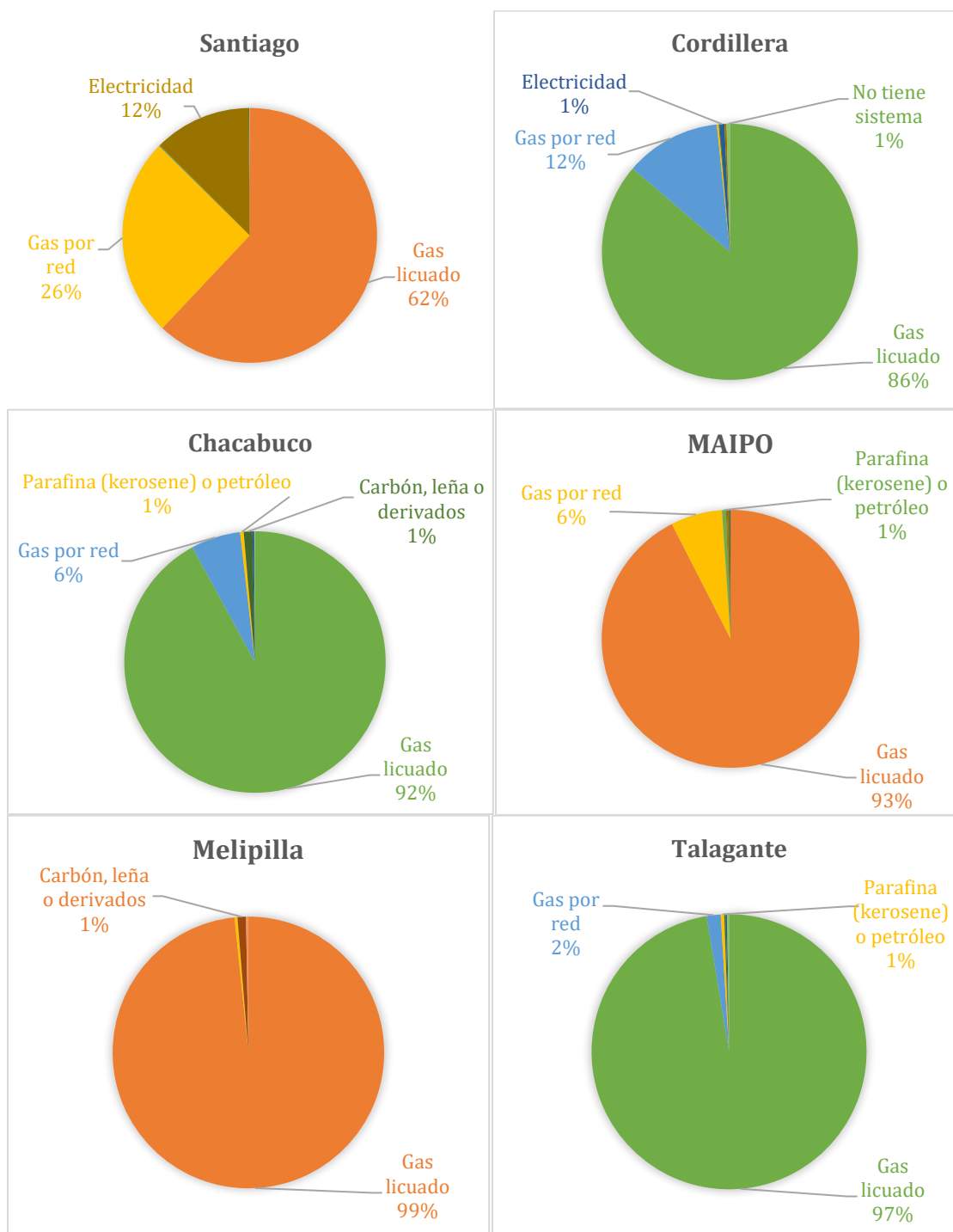


Figura 19. Penetración de fuentes energéticas para cocinar por provincia. Elaboración propia. Fuente: Casen 2022.

Caracterización de los combustibles o fuentes de energía utilizada para calefacción.

El uso de la leña como fuente energética para calefacción ha tenido un aumento en algunas provincias en los últimos 11 años. La penetración de la leña para este propósito presenta un aumento de un 24% en el consumo, tomando como base el estudio elaborado por la CDT el año 2012. Sin embargo, se observa una disminución en el consumo de leña en las provincias de Chacabuco y Melipilla para información del mismo año, estos son el Estudio 2022 y la encuesta Casen 2022.

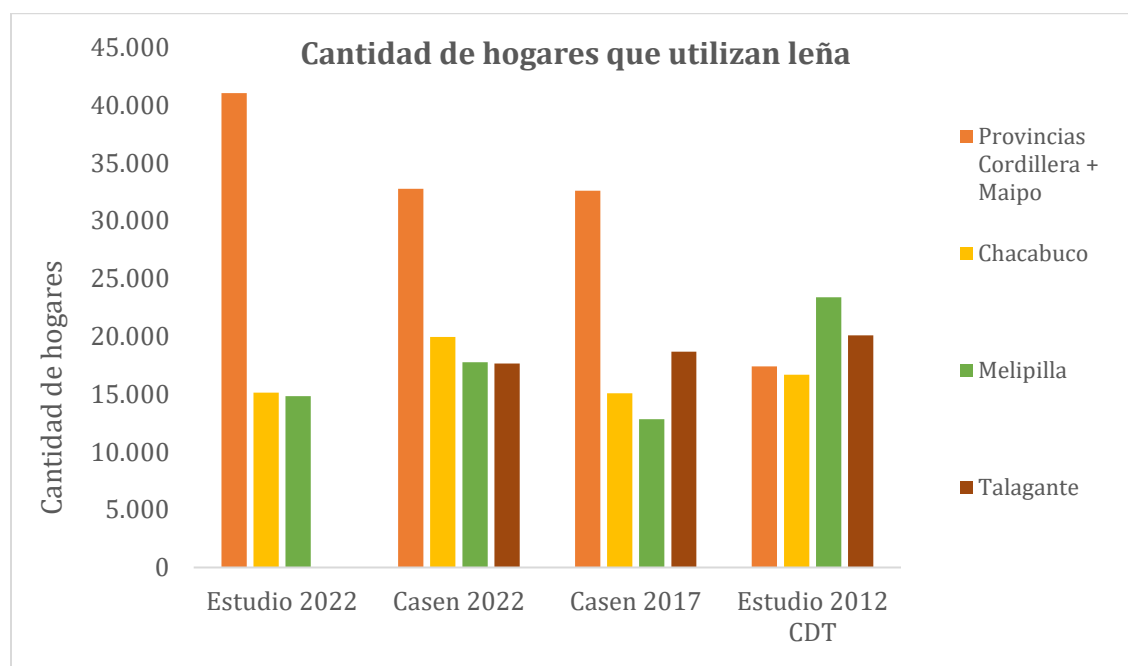


Figura 20. Cantidad de hogares que utilizan leña por provincia.

Tabla 37. Cantidad de hogares que utilizan leña por provincia.

Provincia	Estudio 2022	Casen 2022	Casen 2017	Estudio 2012 CDT
Cordillera + Maipo	41.048	32.755	32.592	17.403
Cordillera	-	12.165	11.669	7.410
Chacabuco	15.121	19.933	15.083	16.685
Maipo	-	20.590	20.923	9.993
Melipilla	14.835	17.763	12.832	23.373
Talagante	0	17.640	18.682	20.080
Total	71.004	70.451	60.507	57.461



Figura 21. Evolución de la penetración de la leña en la RM.

Al comparar la información de las encuestas Casen 2022 y 2017 se observa una tendencia en todas las provincias de la RM en el porcentaje de penetración de la leña para calefaccionar, mientras que la electricidad para este mismo uso se ve en aumento, especialmente en la provincia de Santiago, donde el aumento de electricidad para calefacción aumentó en un 13%. Esto puede explicarse por factores culturales que están llevando a un cambio de los energéticos a usar por otros menos contaminantes, programas de recambio de calefactores en la zona o mayor accesibilidad a bombas de calor. Los cambios para cada provincia se muestran a continuación:

Tabla 38. Cambios en la penetración de la leña en la provincia de Santiago.

Santiago					
	Casen 2022	Casen 2022 %	Casen 2017	Casen 2017 %	Δ%
1. Gas licuado (cilindro o tanque individual)	785.990	36%	684.421	43%	-7%
2. Gas por red (de cañería)	149.467	7%	92.934	6%	1%
3. Parafina (kerosene) o petróleo	394.854	18%	392.251	25%	-6%
4. Carbón, leña o derivados (pellets, astillas o briquetas)	8.232	0%	14.289	1%	-1%
5. Electricidad	569.569	26%	205.122	13%	13%
6. Energía solar	439	0%	4.564	0%	0%
7. No usa combustible o fuente de energía	111.945	5%	60.985	4%	1%
8. No tiene sistema	143.670	7%	140.399	9%	-2%
Total	2.164.166	100%	1.594.965	100%	

Tabla 39. Cambios en la penetración de la leña en la provincia de Cordillera.

Cordillera					
	Casen 2022	Casen 2022 %	Casen 2017	Casen 2017 %	Δ%
1. Gas licuado (cilindro o tanque individual)	117.102	50%	134.769	49%	1%
2. Gas por red (de cañería)	5.063	2%	10.551	4%	-2%
3. Parafina (kerosene) o petróleo	49.973	21%	61.608	23%	-1%
4. Carbón, leña o derivados (pellets, astillas o briquetas)	12.165	5%	11.669	4%	1%
5. Electricidad	31.087	13%	23.997	9%	4%
6. Energía solar	0	0%	581	0%	0%
7. No usa combustible o fuente de energía	9.036	4%	6.301	2%	2%
8. No tiene sistema	9.822	4%	23.755	9%	-5%
Total	234.248	100%	273.231	100%	

Tabla 40. Cambios en la penetración de la leña en la provincia de Chacabuco.

Chacabuco					
	Casen 2022	Casen 2022 %	Casen 2017	Casen 2017 %	Δ%
1. Gas licuado (cilindro o tanque individual)	38.306	35%	20.931	33%	3%
2. Gas por red (de cañería)	1.434	1%	1.818	3%	-2%
3. Parafina (kerosene) o petróleo	18.012	17%	11.105	17%	-1%
4. Carbón, leña o derivados (pellets, astillas o briquetas)	19.933	18%	15.083	24%	-5%
5. Electricidad	17.673	16%	6.949	11%	5%
6. Energía solar	0	0%	56	0%	0%
7. No usa combustible o fuente de energía	5.309	5%	3.429	5%	0%
8. No tiene sistema	7.838	7%	4.455	7%	0%
Total	108.505	100%	63.826	100%	

Tabla 41. Cambios en la penetración de la leña en la provincia de Maipo.

Maipo					
	Casen 2022	Casen 2022 %	Casen 2017	Casen 2017 %	Δ%
1. Gas licuado (cilindro o tanque individual)	76.245	43%	60.691	42%	0%
2. Gas por red (de cañería)	4.050	2%	2.749	2%	0%
3. Parafina (kerosene) o petróleo	40.307	23%	34.541	24%	-1%
4. Carbón, leña o derivados (pellets, astillas o briquetas)	20.590	12%	20.923	15%	-3%
5. Electricidad	23.664	13%	11.380	8%	5%
6. Energía solar	168	0%	417	0%	0%
7. No usa combustible o fuente de energía	8.779	5%	6.337	4%	1%
8. No tiene sistema	4.673	3%	6.458	5%	-2%
Total	178.476	100%	143.496	100%	

Tabla 42. Cambios en la penetración de la leña en la provincia de Melipilla.

Melipilla					
	Casen 2022	Casen 2022 %	Casen 2017	Casen 2017 %	Δ%
1. Gas licuado (cilindro o tanque individual)	26.034	35%	17.899	34%	0%
2. Gas por red (de cañería)	0	0%	189	0%	0%
3. Parafina (kerosene) o petróleo	7.815	10%	4.529	9%	2%
4. Carbón, leña o derivados (pellets, astillas o briquetas)	17.763	24%	12.832	25%	-1%
5. Electricidad	11.468	15%	3.668	7%	8%
6. Energía solar	0	0%	80	0%	0%
7. No usa combustible o fuente de energía	2.686	4%	1.579	3%	1%
8. No tiene sistema	9.316	12%	11.574	22%	-10%
Total	75.082	100%	52.350	100%	

Tabla 43. Cambios en la penetración de la leña en la provincia de Talagante.

	Talagante				
	Casen 2022	Casen 2022 %	Casen 2017	Casen 2017 %	Δ%
1. Gas licuado (cilindro o tanque individual)	44.760	41%	34.470	36%	5%
2. Gas por red (de cañería)	0	0%	1.037	1%	-1%
3. Parafina (kerosene) o petróleo	18.736	17%	20.791	21%	-4%
4. Carbón, leña o derivados (pellets, astillas o briquetas)	17.640	16%	18.682	19%	-3%
5. Electricidad	15.679	14%	6.422	7%	8%
6. Energía solar	0	0%	848	1%	-1%
7. No usa combustible o fuente de energía	5.979	5%	1.337	1%	4%
8. No tiene sistema	7.091	6%	13.248	14%	-7%
Total	109.885	100%	96.835	100%	

Se aprecia además hay una mayor variedad de fuentes energéticas para este propósito. En la provincia de Santiago, a diferencia de las otras, se ve una alta penetración de la electricidad. Ocurre lo contrario con la penetración de leña, donde en Santiago alcanza solo el 0,4% de uso.

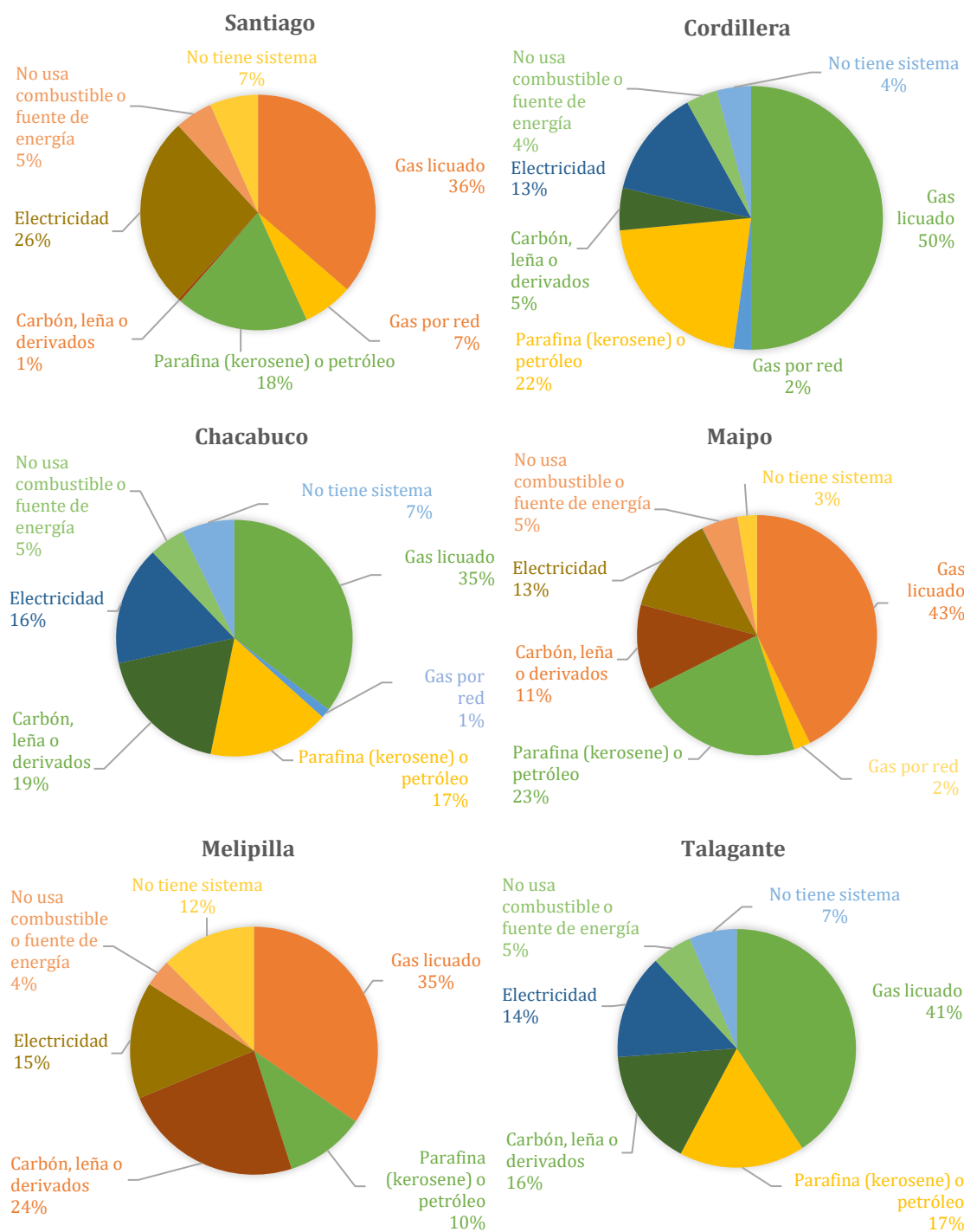


Figura 22. Distribución de las fuentes energéticas utilizadas para calefacción en la RM. Fuente: Casen 2022.

Caracterización de los combustibles o fuentes de energía utilizada para agua caliente.

Tabla 44. Fuente energética utilizada por provincia. Fuente: Encuesta Casen 2022.

v34c. ¿Qué combustible o fuente de energía usa para el sistema de agua caliente?				
Provincia	1. Gas licuado (cilindro o tanque individual)	2. Gas por red (de cañería)	3. Parafina (kerosene) o petróleo	4. Carbón, leña o derivados (pellets, astillas o briquetas)
Santiago	1.283.454	620.917	9.825	1.425
Cordillera	193.440	30.705	1.797	81
Chacabuco	91.212	8.049	0	589
Maipo	156.122	11.582	953	783
Melipilla	69.399	0	71	89
Talagante	102.253	1.504	0	361
Total	1.895.880	672.757	12.646	3.328

Provincia	5. Electricidad	6. Energía solar	7. No usa combustible o fuente de energía	8. No tiene sistema	Total
Santiago	200.215	5.846	17.127	25.357	2.164.166
Cordillera	2.210	776	1.408	3.831	234.248
Chacabuco	2.689	0	2.109	3.857	108.505
Maipo	1.451	955	3.432	3.198	178.476
Melipilla	819	856	852	2.996	75.082
Talagante	1.542	657	1.268	2.300	109.885
Total	208.926	9.090	26.196	41.539	2.870.362

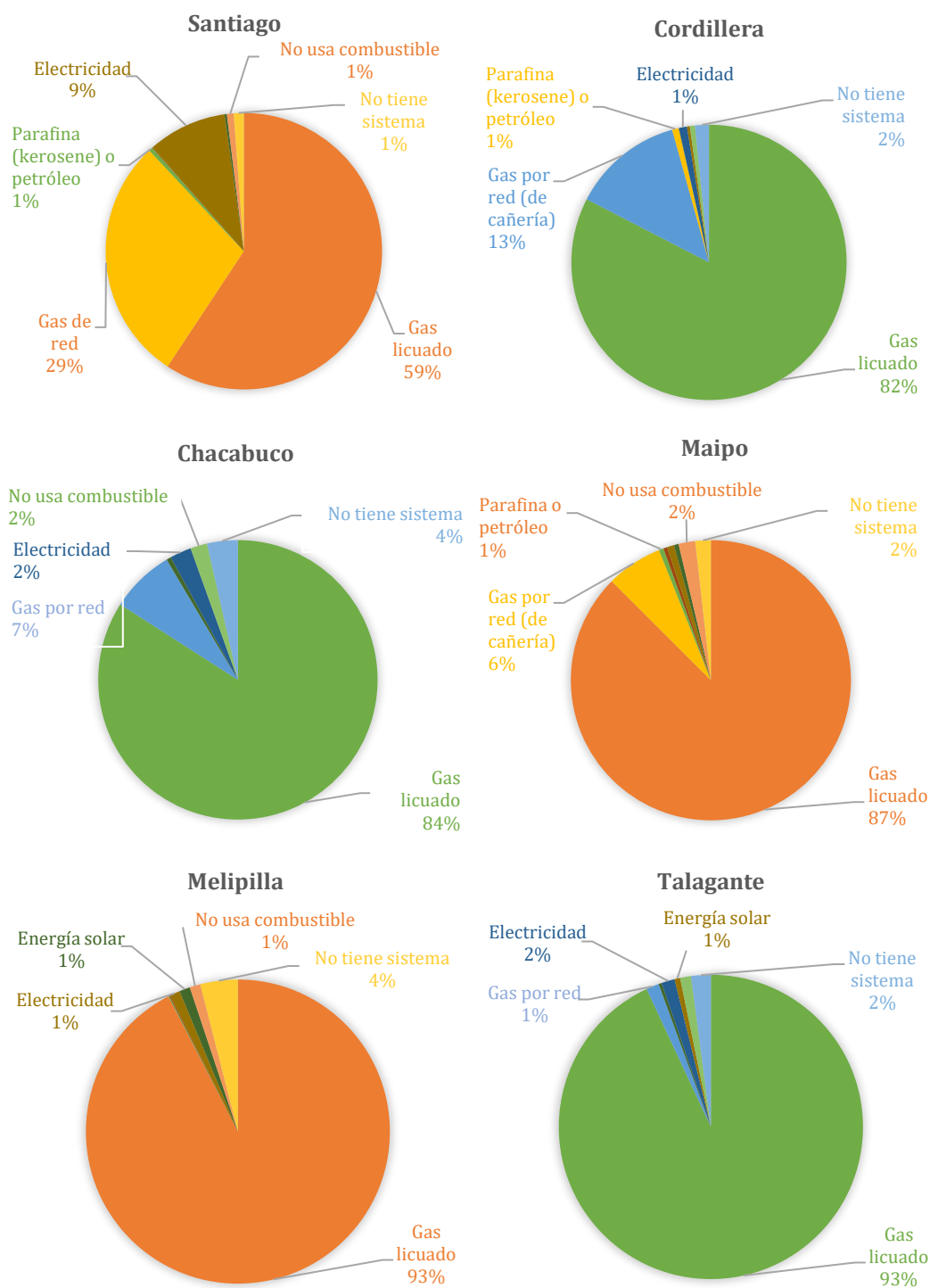


Figura 23. Distribución de las fuentes energéticas utilizadas para agua caliente en la RM. Fuente: Casen 2022.

Así, la principal fuente de energía utilizada para los usos de cocción de alimentos, calefacción y agua caliente sanitaria corresponde al uso del gas licuado.

Especialmente para los usos de cocina y agua caliente los principales energéticos utilizados son el gas licuado, el gas por red y la electricidad. Por otro lado, existe una mayor variedad de energéticos para el uso en calefacción, en donde existe una mayor participación de la parafina, la leña y sus derivados.

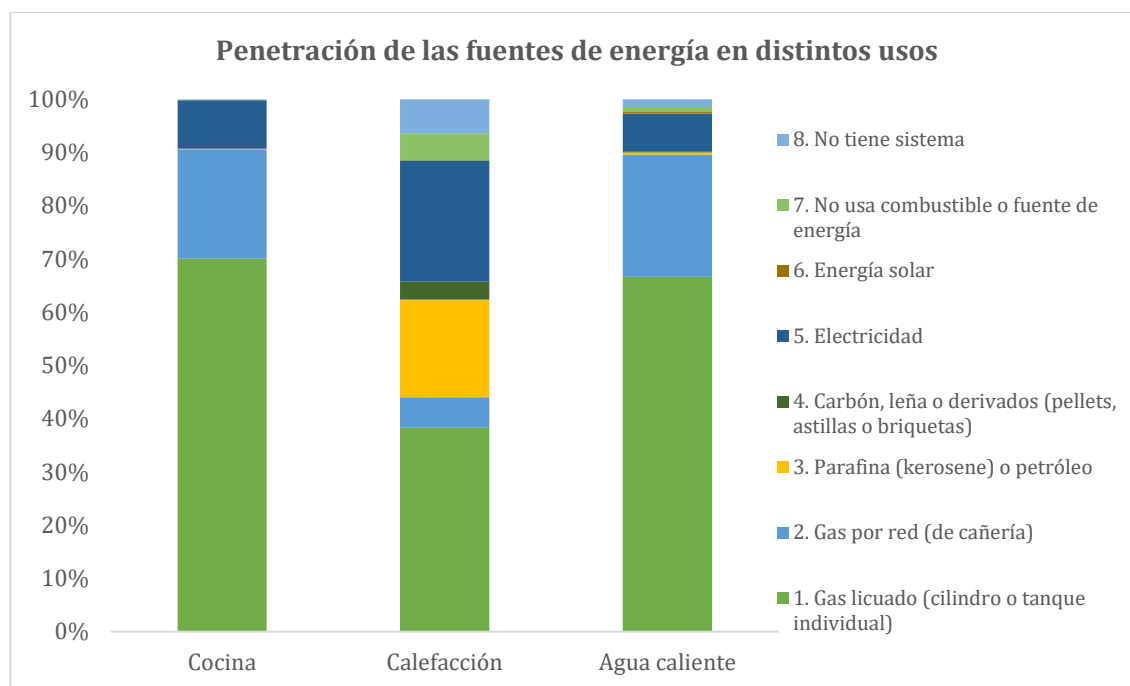


Figura 24. Penetración de las fuentes de energía en distintos usos. fuente: Casen 2022.

Caracterización demográfica de la población en la Región Metropolitana

Población

El Censo Poblacional registra viviendas y personas en un momento dado, facilitando datos para políticas públicas, proyecciones demográficas y encuestas nacionales. En Chile la institución encargada de realizar el Censo es el Instituto Nacional de Estadísticas (INE). A la fecha, el Censo más reciente corresponde al realizado el año 2017, en el cual presenta información demográfica de utilidad para la elaboración del presente inventario de emisiones.

De los resultados obtenidos de la encuesta, la población total de Chile efectivamente censada fue de 17.574.003 personas, de las cuales el 48,9% son hombres y el 51,1% son mujeres.

En el caso de la Región Metropolitana, la población total censada fue de 7.112.808 personas, de las cuales la cantidad de hombres y mujeres fue de 3.462.267 y

3.650.541 respectivamente. Esto significa que la Región Metropolitana es la región más poblada del país, concentrando el 40,5% de la población.

En cuanto a la distribución por provincia, es la de Santiago la que concentra la mayor población, con un 73,8% de la población total de la región.

Tabla 45. Distribución de la población en la Región Metropolitana. Fuente: Censo 2017.

Región	Provincia	Hombres	Mujeres	Total
Metropolitana De Santiago	Santiago	2.541.870	2.708.695	5.250.565
	Cordillera	298.437	314.379	612.816
	Chacabuco	136.227	131.326	267.553
	Maipo	244.614	251.464	496.078
	Melipilla	93.110	92.856	185.966
	Talagante	148.009	151.821	299.830

Las 5 comunas con mayor población son Puente Alto, Maipú, Santiago, La Florida y San Bernardo. Sólo en estas 5 comunas se encuentra el 30,4% de la población total de la Región Metropolitana. A continuación se presenta la población total en cada comuna de cada una de las provincias.

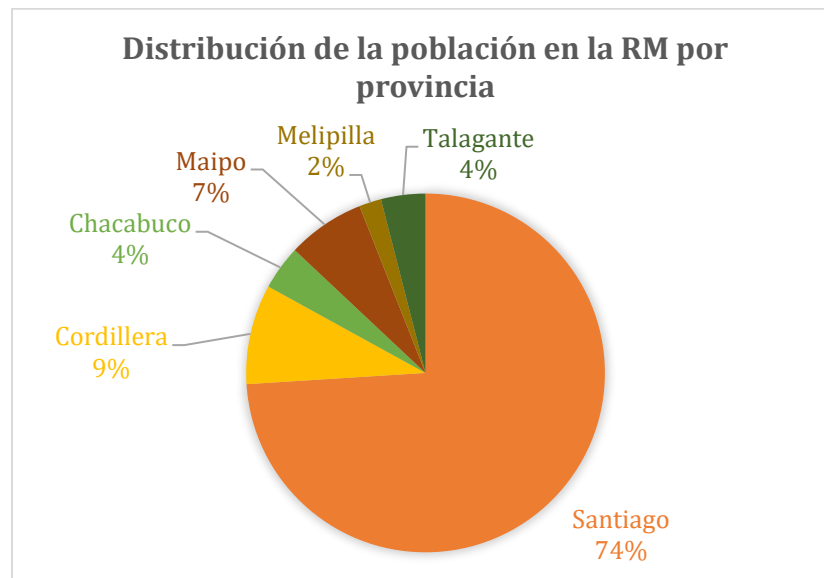


Figura 25. Distribución de la población por provincia en la Región Metropolitana. Elaboración propia. Fuente: Censo 2017.

Tabla 46. Población en las comunas de la Región Metropolitana. Provincia de Santiago.

Provincia	Comuna	Total	Comuna	Total
Santiago	Santiago	404.495	Lo Prado	96.249
	Cerrillos	80.832	Macul	116.534



Cerro Navia	132.622	Maipú	521.627
Conchalí	126.955	Ñuñoa	208.237
El Bosque	162.505	Pedro Aguirre Cerda	101.174
Estación Central	147.041	Peñalolén	241.599
Huechuraba	98.671	Providencia	142.079
Independencia	100.281	Pudahuel	230.293
La Cisterna	90.119	Quilicura	210.410
La Florida	366.916	Quinta Normal	110.026
La Granja	116.571	Recoleta	157.851
La Pintana	177.335	Renca	147.151
La Reina	92.787	San Joaquín	94.492
Las Condes	294.838	San Miguel	107.954
Lo Barnechea	105.833	San Ramón	82.900
Lo Espejo	98.804	Vitacura	85.384

Tabla 47. Población en las comunas de la Región Metropolitana. Provincias de Cordillera, Maipo, Melipilla y Talagante.

Provincia	Comuna	Total
Cordillera	Puente Alto	568.106
	Pirque	26.521
	San José De Maipo	18.189
	Colina	146.207
	Lampa	102.034
	Tiltil	19.312
Maipo	San Bernardo	301.313
	Buín	96.614
	Calera De Tango	25.392
	Paine	72.759
Melipilla	Melipilla	123.627
	Alhué	6.444
	Curacaví	32.579
	María Pinto	13.590
	San Pedro	9.726
Talagante	Talagante	74.237
	El Monte	35.923
	Isla De Maipo	36.219
	Padre Hurtado	63.250
	Peñaflor	90.201

Vivienda

En cuanto a viviendas, Censo 2017 presenta los siguientes resultados: La cantidad de total viviendas en el país es de 6.499.355, de las cuales el 36,6% se encuentran dentro de la Región Metropolitana (2.378.442 viviendas).

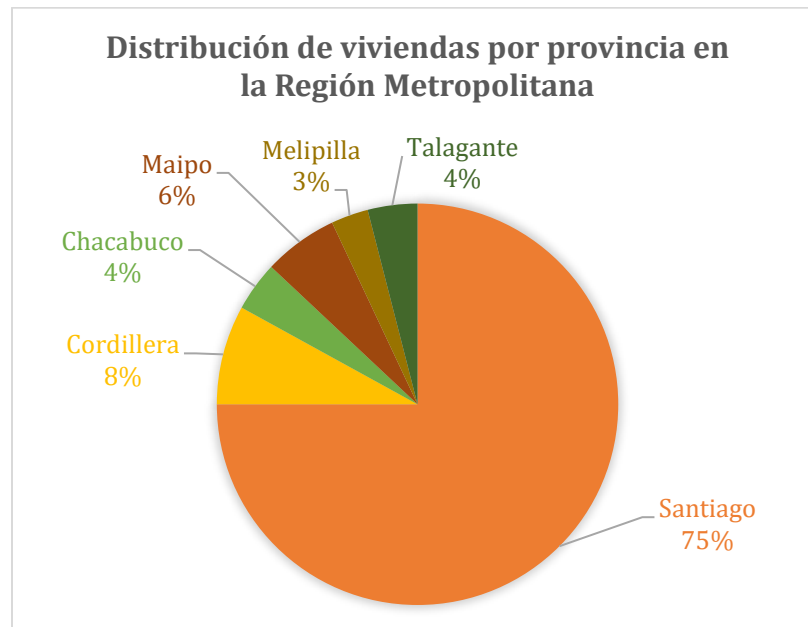


Figura 26. Distribución de viviendas por provincia en la RM. Fuente: Censo 2017.

Se presenta una distinción en los diferentes tipos de viviendas. Estas se pueden clasificar entre viviendas ocupadas o desocupadas. Dentro de las primeras, se encuentran aquellas viviendas ocupadas con moradores presentes, con moradores ausentes (se encuentra habitada, pero no había personas durante la visita del censista) y viviendas colectivas, las que corresponden a viviendas en donde habitan personas sin una relación de parentesco. Se consideran viviendas colectivas los hospitales, hoteles, pensiones, entre otros. Los resultados del Censo 2017 en cuanto a viviendas se presenta a continuación:

Tabla 48. Cantidad de viviendas en cada una de las provincias de la Región Metropolitana. Elaboración propia. Fuente: Censo 2017.

Provincia	Viviendas particulares ocupadas con moradores presentes	Viviendas particulares ocupadas con moradores ausentes	Viviendas particulares desocupadas (en venta, para arriendo, abandonada u otro)	Viviendas particulares desocupadas (de temporada)	Viviendas colectivas	Total viviendas
Santiago	1.629.871	75.213	75.979	8.911	1.745	1.791.719
Cordillera	174.351	5.715	4.985	1.545	149	186.745
Chacabuco	74.021	2.241	6.009	945	88	83.304

Maipo	140.394	3.420	7.362	2.145	135	153.456
Melipilla	57.728	2.282	3.453	3.311	122	66.896
Talagante	87.169	2.847	5.059	1.162	85	96.322

Tabla 49. Cantidad de viviendas por comuna. Fuente: Censo 2017.

Provincia	Comuna	Viviendas particulares ocupadas con moradores presentes	Viviendas particulares ocupadas con moradores ausentes	Total viviendas ocupadas
Santiago	Santiago	163.947	15.816	193.628
	Cerrillos	23.303	684	24.547
	Cerro Navia	36.394	978	38.020
	Conchalí	35.939	962	37.759
	El Bosque	45.740	911	47.941
	Estación Central	43.675	2.079	52.486
	Huechuraba	27.041	695	28.945
	Independencia	31.958	1.792	36.666
	La Cisterna	28.501	1.555	31.480
	La Florida	112.040	3.282	120.035
	La Granja	32.905	763	34.423
	La Pintana	47.066	2.000	50.042
	La Reina	28.007	680	29.801
	Las Condes	104.821	6.335	118.007
	Lo Barnechea	26.405	943	31.225
	Lo Espejo	25.823	407	26.774
	Lo Prado	28.434	562	29.526
	Macul	38.493	1.730	43.121
	Maipú	152.126	4.752	161.354
	Ñuñoa	80.450	5.740	92.248
	Pedro Aguirre Cerda	28.283	825	29.906
	Peñalolén	67.524	1.303	70.394
	Providencia	59.838	5.085	70.965
	Pudahuel	64.392	2.790	68.940
	Quilicura	59.229	1.445	62.470
	Quinta Normal	33.746	2.794	38.989
	Recoleta	46.615	1.676	50.178
	Renca	41.417	804	43.174
	San Joaquín	27.869	963	30.096
	San Miguel	37.107	2.762	42.947
	San Ramón	22.928	477	23.855
	Vitacura	27.855	1.623	31.777

Provincia	Comuna	Viviendas Particulares Ocupadas Con Moradores Presentes	Viviendas Particulares Ocupadas Con Moradores Ausentes	Total Viviendas Ocupadas
Cordillera	Puente Alto	161.659	5.024	171.511
	Pirque	7.560	259	8.308
	San José De Maipo	5.132	432	6.926
	Colina	38.977	1.154	43.028
	Lampa	29.328	891	33.342
	Tiltil	5.716	196	6.934
Maipo	San Bernardo	84.069	1.977	90.241
	Buín	28.042	665	31.152
	Calera De Tango	7.009	147	7.601
	Paine	21.274	631	24.462
Melipilla	Melipilla	38.468	1.452	43.393
	Alhué	1.903	143	2.658
	Curacaví	9.974	419	11.806
	María Pinto	4.171	129	4.852
	San Pedro	3.212	139	4.187
Talagante	Talagante	21.379	642	23.271
	El Monte	10.735	349	11.869
	Isla De Maipo	10.722	273	11.826
	Padre Hurtado	18.203	622	20.807
	Peñaflor	26.130	961	28.549

4.1.3 Caracterización de las distintas fuentes de emisión del Sector Residencial, para la RMS y los distintos tipos de combustibles utilizados en este sector.

En base a lo recopilado, las fuentes de emisión residenciales las podemos clasificar en base a tres propósitos distintos: cocina, calefacción y sistemas de agua caliente. Para cada uno de estos usos, la encuesta Casen 2022 proporciona información de las siguientes fuentes energéticas:

- Gas licuado (cilindro o tanque individual)
- Gas por red (de cañería)
- Parafina (kerosene) o petróleo
- Carbón, leña o derivados (pellets, astillas o briquetas)

Los artefactos que utilizan leña que se consideran para el presente inventario son descritos a continuación:

Salamandra

La Salamandra es un artefacto hecho de fierro forjado que no tiene tecnología de reducción de emisiones. Por ello, se puede asimilar a tecnologías de estufas convencionales del estudio AP-42 de la EPA. El documento AP-42 ha sido elaborado utilizando una recopilación de muchos estudios realizados en Estados Unidos con metodologías aprobadas por la EPA y representa una de las fuentes más confiables de información para las tasas de emisión. El valor de emisiones de MP_{10} sugerido por la EPA para las estufas convencionales es de 15,3 g/kg de leña.



Figura 27. Estufas Salamandra. Imagen extraída de Estudio 2022.

Estufa simple

La estufa simple es de fabricación industrial y cuenta con métodos de control de aire, pero no cuenta con tecnología de reducción de emisiones. Por esto, se utilizará la sugerencia de la EPA para la estufa convencional de 15,3 g/kg de leña.



Figura 28. Estufa simple. Imagen extraída de Estudio 2022.

Estufa doble entrada

Este tipo de estufa es el más utilizado y vendido en Chile. Cuenta con una placa templadora que calienta el aire de salida, permitiendo una mejor combustión. Comúnmente se le llama de Doble Cámara, o tipo Bosca, pero no tiene doble cámara sino una placa templadora. Esta tecnología es similar a la descrita en el documento AP-42 de la EPA para estufas no catalíticas. Por esto, se utilizará la sugerencia de emisiones de la EPA de 9,8 g/kg de leña.



Figura 29. Estufa doble entrada. Imagen extraída de Estudio 2022.

Chimenea hogar abierto

Las chimeneas de hogar abierto corresponden a estructuras generalmente construidas junto con la casa con un ducto de descarga de emisiones al exterior. La toma de aire está abierta hacia interior de la casa de tamaños que varían entre 0,5 x 0,5 m² y 1,5 x 1 m² y no tiene sistema de control de flujo. Estas chimeneas han sido descritas en el documento AP-42 de la EPA, que ha sido elaborado utilizando una recopilación de muchos estudios realizados en Estados Unidos. El valor de emisiones sugerido por la EPA (2) para las chimeneas de hogar abierto es de 17,3 g/kg de leña.

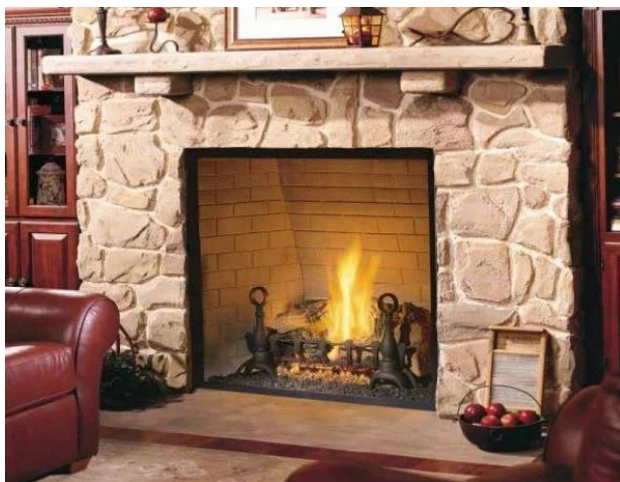


Figura 30. Chimenea hogar abierto. Imagen extraída de Estudio 2022.

Chimenea hogar (cerrado)

Este tipo de estufas corresponden en general a modificaciones que han sido hechas a las chimeneas de hogar abierto. La modificación consiste en insertar en el espacio de la chimenea una estufa con templador o una modificación de estas estufas que quepa adecuadamente en el espacio original. También pueden ser construidas directamente en casas nuevas con tecnología de doble cámara o templador. Por lo tanto las emisiones de estas estufas son similares a las estufas de doble cámara y se utilizará el mismo valor de 9,8 g/kg de leña.



Figura 31. Chimenea hogar cerrado. Imagen extraída de Estudio 2022.

Caldera a leña

Las calderas a leña que son actualmente utilizadas en la Región Metropolitana (y que corresponden al resultado de la encuesta) son artefactos relativamente nuevos que cuentan con tecnología de reducción de emisiones similar a las estufas de doble cámara, por lo tanto se puede utilizar el mismo factor de emisiones que las estufas de doble cámara de 9,8 g/kg de leña.



Figura 32. Caldera a leña. Imagen extraída de amesti.cl

Estufa a base de pellet

Estas estufas utilizan combustible en base a biomasa, de tamaño e ingredientes controlados. El encendido, la carga de combustible y la operación están controlados, de tal manera que el operador no pueda cambiarlos. De este modo, es posible limitar las emisiones. Estas estufas han sido descritas en el documento AP-42(1), por tanto se ha usado el valor sugerido por la EPA de 2,1 g/kg de combustible.



Figura 33. Estufa a pellet. Imagen extraída de Estudio 2022.

Cocina a leña

Las cocinas a leña utilizadas en la Región Metropolitana corresponden a artefactos antiguos que aún siguen siendo utilizados para calefacción y cocina. De acuerdo con los resultados de la encuesta de la CDT, la venta de cocinas a leña nuevas con tecnología de reducción de emisiones no ocurre en la Región Metropolitana. Al ser un artefacto sin tecnología de reducción de emisiones, pero no empotrado en la

pared, es similar a una Salamandra. Por ello, se utilizará el mismo valor de emisiones que las Salamandras, de 15,3 g/kg de leña.



Figura 34. Estufa a leña. Imagen extraída de Estudio 2022.

Otros

Los equipos clasificados como otros corresponden a estufas “hechizas” fabricadas modificando recipientes metálicos, estructuras de lavadoras o secadoras viejas, etc. A estas estructuras se les agrega un ducto para evacuar las emisiones. Las emisiones de este tipo de equipos probablemente se asemejen a las chimeneas de hogar abierto, ya que no existe ningún diseño estándar ni tienen ningún tipo de control de flujo o reducción de emisiones. Por ello, se utilizará el mismo valor de emisiones que las estufas de hogar abierto de 17,3 g/kg.



Figura 35. Estufa hechiza. Imagen extraída de Estudio 2022.

4.1.4 Repositorio digital con la información recopilada

La información resumida recopilada de los distintos estudios y encuestas se encuentra en una carpeta drive

https://drive.google.com/drive/folders/1z6jRFUQCplgqAdi-k0diyL94efFP_N2I?usp=sharing

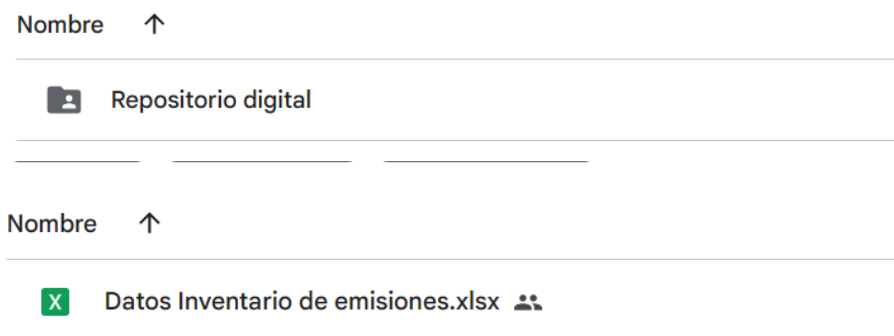


Figura 36. Repositorio digital.

4.2 Robustez de la metodología Estudio 2022

Implementar una metodología para robustecer resultados del Estudio Catastro piloto e inventario de emisiones de calefactores y cocinas a leña de uso residencial en la Región Metropolitana.

4.2.1 Validación de detalles de aplicación de metodología para mejorar y/o validar resultados del Estudio 2022

Para establecer mejoras en la metodología se realizaron un total de cuatro reuniones, en donde dos de estas fueron realizadas con la contraparte técnica y otras dos se realizaron entre el equipo consultor y participantes en la elaboración del Estudio 2022.

Las reuniones internas con los desarrolladores del Estudio 2022 se dieron a lugar con fecha 11 de septiembre y 16 de octubre. En estas se discutió acerca de la metodología desarrollada e implementada durante el Estudio 2022 por el equipo consultor, de cuyos resultados fueron expuestos en 2 reuniones con la contraparte técnica a través de la plataforma Microsoft Teams. En dichas reuniones se expusieron las apreciaciones del desarrollo del Estudio 2022, así como también las dificultades en durante la elaboración del inventario. De las reuniones se concluyó en primer lugar que las mejoras y cambios deben ser centrados en la recopilación de información más que en la metodología para realizar los cálculos del inventario de emisiones, por lo que en términos teóricos y de factores de emisión corresponde a la esta información actualizada disponible a la fecha. Por otra parte, las dificultades encontradas, así como las mejoras propuestas se basaron en los siguientes ejes:

- Uso de la encuesta Casen 2022
- Comparación del consumo de leña en Talagante a través de los últimos estudios
- Comparación de datos entre distintos inventarios y estudios para determinar tendencias
- Comparación de los datos con comunas aledañas

Además, para la elaboración de encuestas se propusieron mejoras, las cuales están relacionadas a la fecha de elaboración, aumento del tamaño muestral, contar con ayudas visuales para la gente encuestada a través del uso de imágenes y análisis en los cambios de población. El detalle de las mejoras y cambios en la metodología validadas se presentan en el capítulo dedicado al Estudio 2022 “Aspectos de mejora para la elaboración de un inventario de emisiones”.

4.2.2 Ejecución de la metodología para revisión de resultados del Estudio 2022

El principal foco de revisión de los resultados obtenidos por el Estudio 2022 corresponde a las emisiones obtenidas en la comuna de Talagante. De las encuestas elaboradas en la primera etapa del estudio, de las cuales se obtiene la penetración

de leña y sus derivados en las provincias de la Región Metropolitana se obtuvieron resultados no consistentes con el historial de la provincia ni con el de las provincias cercanas, obteniéndose un 0,5% de lo declarado en la encuesta realizada, lo que contrasta con la información obtenida de la encuesta Casen 2017 que entregó una penetración de leña del 21% para calefacción. Además, en la misma encuesta se incluyó la pregunta “¿Sabe si alguien en el vecindario consume leña?”, de la cual se estimó una penetración en Talagante de un 16,4%, lo que corresponde a una variación del 15,9%.

Tomando como referencia el Estudio 2012 CDT, las encuestas Casen 2017 y 2022, así como también el Estudio 2022 se observa una disminución en el uso de la leña, mientras que en las provincias de Cordillera y Maipo se ha producido un aumento sostenido en los últimos años.

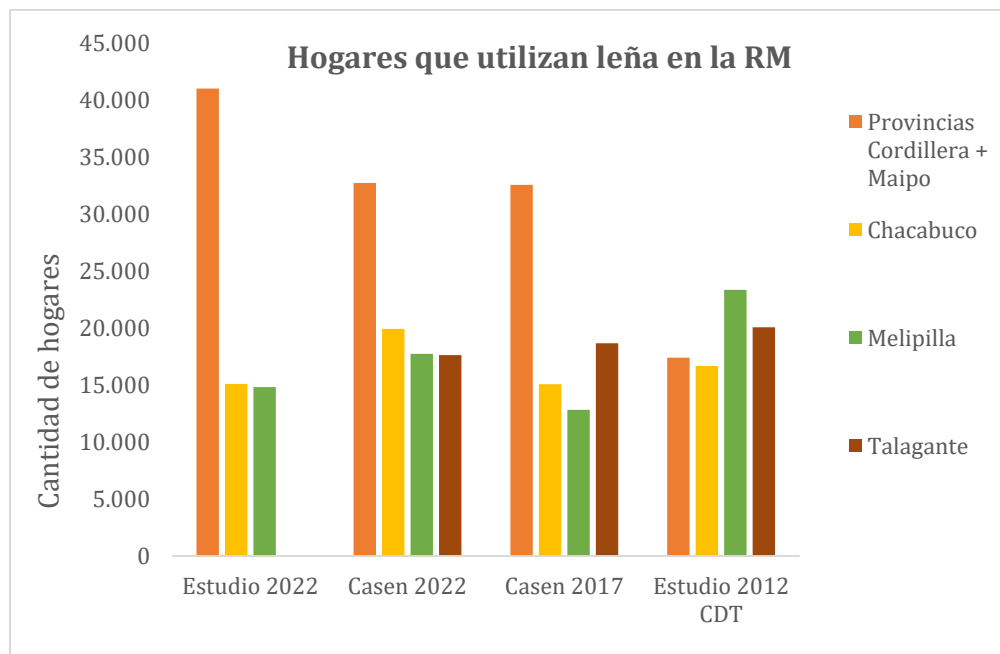


Figura 37. Cantidad de hogares que utilizan leña por provincia.

Sin embargo, no existe una consistencia entre los resultados del Estudio 2022 y la Encuesta Casen 2022, por lo que se propone como una aproximación el utilizar el promedio de ambos resultados, utilizando la desviación estándar como error, por lo que la cantidad de hogares sería de 37.100 ± 5.500 . Por otro lado, aunque los resultados de las provincias de Chacabuco y Melipilla son consistentes, estos no son iguales, por esto se utilizará de forma similar el promedio y desviación estándar entre ambos resultados.

Tabla 50. Estimación penetración leña para calefacción.

Provincia	Promedio	Desviación estándar
-----------	----------	---------------------

Cordillera + Maipo	37.100	5.500
Chacabuco	17.700	3.600
Melipilla	16.200	1.900

Por otro lado, los resultados de Talagante en el Estudio 2022 indican un uso nulo, al contrario de la Casen 2022 que indica un total de 17.700 estufas. Analizando las tendencias de los últimos estudios (sin considerar el Estudio 2022) se presenta una consistencia en la penetración de la leña y además muestra una disminución, por lo que se estima razonable el utilizar los resultados de la Encuesta Casen 2022 para determinar el número de casas que utilizan estufas a leña en la provincia de Talagante.

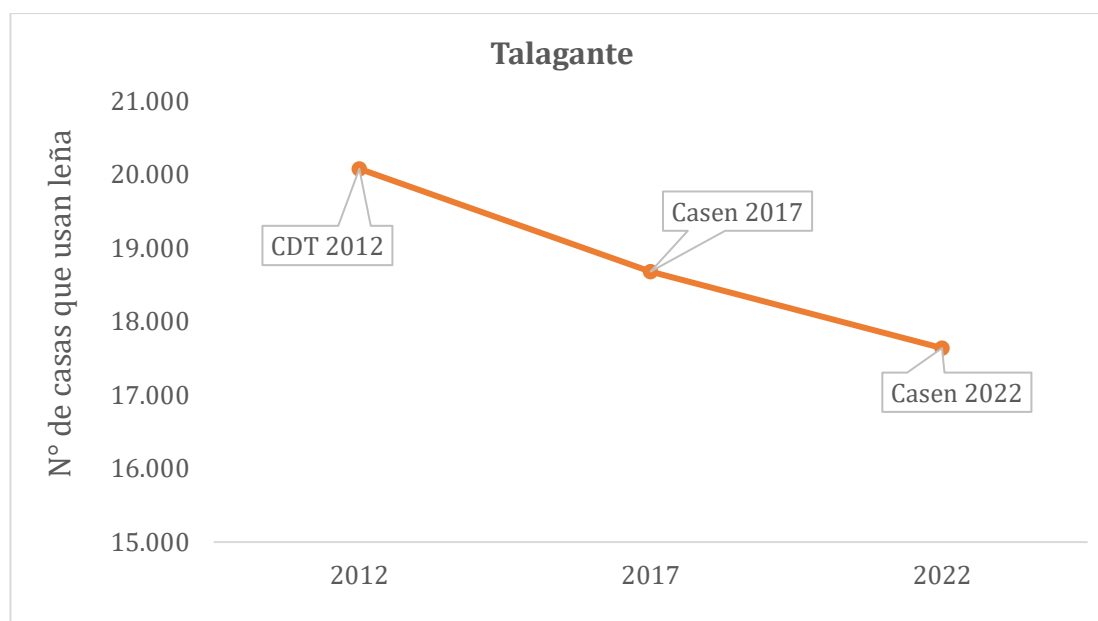


Figura 38. Penetración de la leña en Talagante según diferentes fuentes. Elaboración propia.

Sobre la penetración de la leña para las comunas de la Zona A (provincia de Santiago) en estos tres estudios en general se aprecia una disminución en el número de casas que utilizan leña e inclusive se aprecian comunas que no utilizan este combustible para la calefacción.

Si bien se aprecia una disminución, esta no es igual para todas las comunas, por lo que no es posible establecer una tendencia. Analizando el uso total de la leña en la Zona A se puede realizar un análisis de tendencias, a fin de obtener una estimación del uso actual de la leña. A continuación, se presenta la penetración de la leña en las comunas de la Zona A.

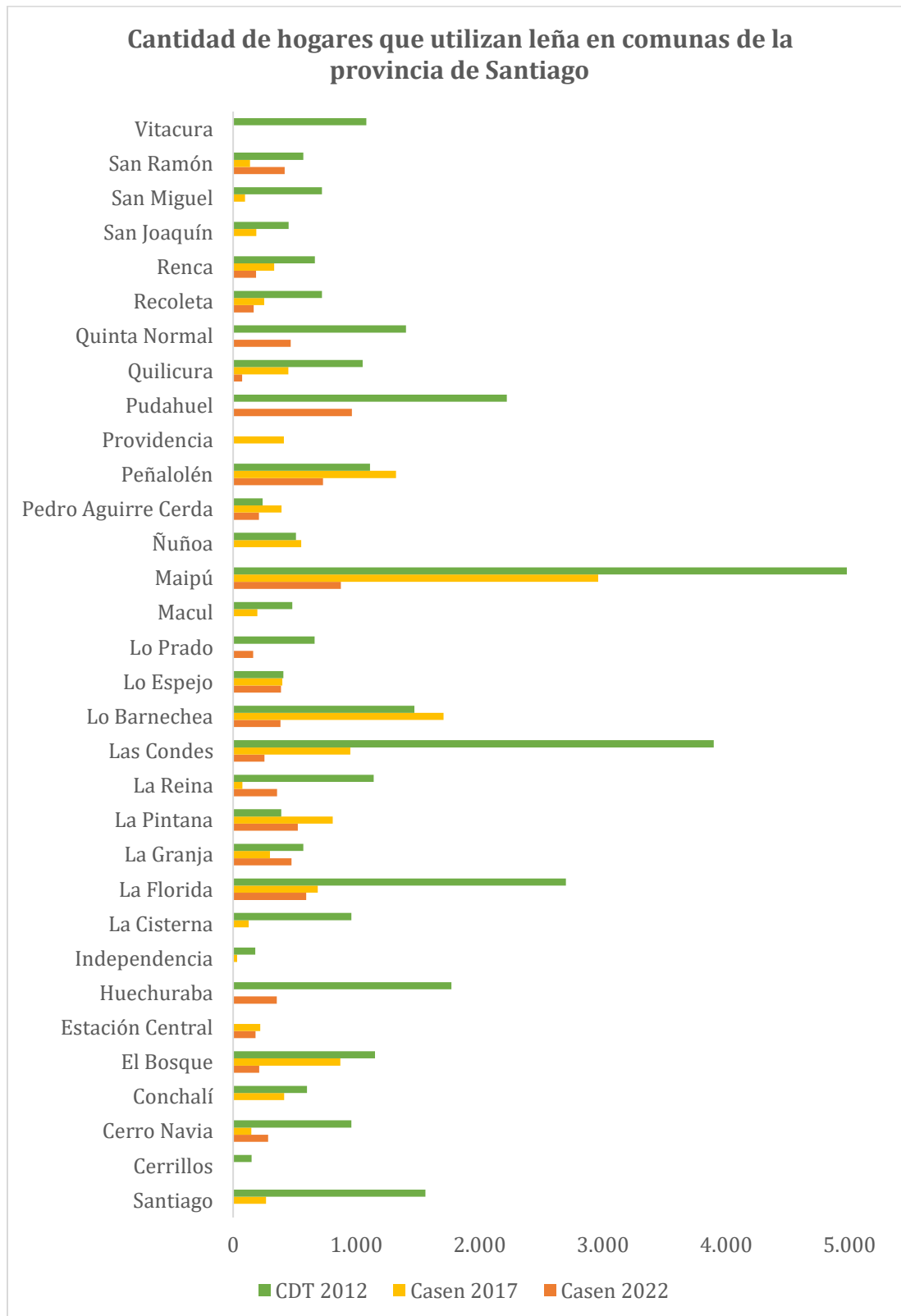


Figura 39. Penetración de la leña para calefacción en comunas de la provincia de Santiago.



Figura 40. Tendencia del uso de leña en comunas de la provincia de Santiago.

El gráfico anterior muestra la tendencia en el uso de leña en las comunas urbanas de la Región Metropolitana según el estudio CDT 2012 y las encuestas Casen 2017 y Casen 2022. Se encuentra una disminución de 26.506 artefactos en el periodo de 10 años. Los datos que son utilizados en el presente inventario corresponden a los obtenidos de la encuesta Casen 2022, los cuales corresponden a la información más actualizada a la fecha.

5. Resultados del inventario y registro digital

5.1 Registro digital de la información

En este capítulo se presenta un sistema de registro digital para compilar información de niveles de actividad y factores de emisión asociados al sector residencial, así como también los niveles de actividad y factores de emisión a utilizar.

5.1.1 Niveles de actividad y selección de factores de emisión para el sector residencial y todas sus fuentes identificadas. Identificando además la disgregación territorial que permita definir distintas zonas, tomando como referencia los distintos límites administrativos dentro de la RMS.

Calefacción a leña

Para determinar los niveles actividad de la calefacción a leña, se utiliza la información obtenida de las encuestas realizadas en el estudio In-Data 2022. Sin embargo, se realiza un ajuste que considera la penetración de la leña obtenida de la encuesta Casen 2022. Así, de In-Data 2022 se obtiene un porcentaje de uso de cada uno de los distintos calefactores a leña y luego se aplica dicho porcentaje a la información de la encuesta Casen. Así, la cantidad de equipos por tipo en cada provincia de la RM se presenta a continuación:

Tabla 51. Cantidad de equipos a leña por provincia.

	Bras ero	Salam andra	Cámara simple	Cámara doble	Chimenea abierta	Estufa a Pellets	Estufa hechiz a	Cocin a a leña
Santiago	71	2.858	214	3.598	312	71	1.014	119
Cordillera	0	4.562	175	4.738	351	175	1.755	351
Chacabuco	0	9.698	746	7.833	746	0	746	0
Maipo	0	7.956	306	8.262	612	306	3.060	612
Melipilla	0	2.269	851	8.791	1.134	0	4.537	0
Talagante	757	6.312	252	8.837	505	252	505	252
Total	828	33.654	2.544	42.059	3.660	805	11.617	1.335

Esto da un total de 96.503 equipos que utilizan leña o carbón en toda la Región Metropolitana para el año 2022.

En cuando al consumo, según la misma fuente se obtiene un promedio de 341 kg de leña al año por equipo, aunque este valor varía entre cada provincia y artefacto. El detalle es mostrado a continuación:

Tabla 52. Consumo promedio de leña por calefactor en cada provincia.

Provincia	Brasero	Salamandra	Cámara simple	Cámara doble	Chimenea abierta	Estufa Pellet	Estufa hechiza	Cocina leña
Santiago	17	556	187	590	203	72	644	460
Cordillera	0	569	80	687	0	0	780	1.075
Chacabuco	0	845	85	406	200	0	410	0
Maipo	0	569	80	687	0	0	780	1.075
Melipilla	0	594	667	861	650	0	951	0
Talagante	83	201	25	306	163	360	300	150

Así, del consumo individual por artefacto y del total de estos se tiene que el consumo anual total de leña en la RM es de 56.256 toneladas al año, donde el 43,6% del consumo es debido al uso de los equipos cámara doble (24.513 toneladas) y 34,7% es por los equipos tipo Salamandra (19.526 toneladas).

En cuanto al modificador de operación, se utiliza un valor de 2, que corresponde a un tiraje medio, el valor del modificador asociado al tipo de leña que se utiliza es 1, correspondiente a pino o eucalipto y en cuando al factor multiplicativo asociado a la humedad se utiliza el valor 1, que corresponde a un 20% de humedad de la leña.

Los factores de emisión corresponden a los utilizados en el estudio In-Data 2022, que es similar al de los inventarios anteriores, los cuales son obtenidos de la EPA (AP-42).

Tabla 53. Factores de emisión por equipo.

Factores de emisión (g/kg)								
Equipo	MP	CO	NO _x	COV	SO _x	NH ₃	CO ₂	CH ₄
Brasero	10	115,4	1,3	26,5	0,18	1,1	1.700	9,8
Salamandra	15,3	126,3	1,3	114,5	0,18	1,1	1.700	9,8
Simple	15,3	115,4	1,3	26,5	0,18	1,1	1.700	9,8
Bosca	9,8	115,4	1,3	26,5	0,18	1,1	1.700	9,8
Chimenea	17,3	126,3	1,4	114,5	0,18	1,1	1.700	9,8
Pellet	2,1	115,4	1,3	26,5	0,18	1,1	1.700	9,8
Otros	15,3	126,3	1,4	114,5	0,18	1,1	1.700	9,8
Cocina	17,3	126,3	1,4	114,5	0,18	1,1	1.700	9,8

Calefacción con otros combustibles

Los otros combustibles utilizados para calefacción considerados en este inventario con el gas licuado, el kerosene y el gas natural. El consumo del gas natural y gas licuado son obtenidos de la cuenta pública participativa 2023 que indica el consumo residencial en el año 2022 de la Región Metropolitana. En cuanto al consumo de kerosene, la información actualizada más reciente libremente disponible fue encontrada del Informe Estadístico 2020 de la ENAP. Para realizar el ajuste al año 2022 fue considerado el cambio en la población, por lo que se asume un consumo per cápita idéntico al año 2020 y luego ponderado por la población total al año 2022 obtenida de la Proyección de Población del Censo 2017 presentado por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE).

Datos utilizados para el cálculo de las emisiones se presentan a continuación:

Tabla 54. Consumo y densidad del GLP, Gas natural y kerosene.

Combustible	Densidad (kg/m ³)	Consumo (m ³ /año)	Consumo (kg/año)
Gas natural	0,737	335.552.000	247.301.824
Gas licuado	550	908.276	499.552.000
Kerosene	810	89.637	72.605.970

Los factores de emisión utilizados para el gas natural y gas licuado son obtenidos de la Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Provenientes de Fuentes Puntuales del Ministerio del Medio Ambiente (2019), con excepción del factor de emisión del contaminante CO para el gas licuado y el factor de emisión del contaminante NO_x para el gas natural, los cuales fueron obtenidos de la EPA. La elección de estos factores de emisión de una fuente distinta se debe a que al realizar el cálculo de las emisiones para dichos contaminantes los resultados de las emisiones representan mejor las condiciones de consumo y penetración de estos combustibles en la Región Metropolitana.

Los factores de emisión del kerosene corresponden a los presentados en la Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Fuentes Fijas y Móviles en el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, Comisión Nacional del Medio Ambiente (2009). Para estos combustibles se decidió utilizar factores de emisión distintos a los utilizados en los últimos inventarios debido que utilizando esos factores las emisiones por gas natural son mayores a las emisiones por gas licuado, a pesar del mayor consumo de GLP con respecto del otro combustible. Se dio por tanto preferencia a factores de emisión actualizados presentes en estudios nacionales.

Tabla 55. Factores de emisión para Gas Natural y Gas licuado.

Combustible	Contaminante	Factor de emisión (kg Contaminante/m ³ combustible)
Gas natural	MP ₁₀	0,000030

	MP _{2,5}	0,000030
	CO	0,001346
	COV	0,000088
	NH ₃	0,000008
	NO _x	0,001600
	SO ₂	0,000010
	MP ₁₀	0,047900
Gas licuado	MP _{2,5}	0,047900
	CO	1,008000
	COV	-
	NH ₃	-
	NO _x	1,677600
	SO ₂	0,001500

Tabla 56. Factores de emisión del kerosene.

Combustible	Contaminante	Factor de emisión (kg contaminante/ kg combustible)
Kerosene	MP ₁₀	0,000150
	MP _{2,5}	0,000040
	CO	0,000710
	COV	0,000050
	NH ₃	0,000140
	NO _x	0,002830
	SO ₂	0,004200

Restaurantes de parrilladas

La caracterización del consumo de leña y derivados fue obtenida del estudio “Caracterización y Catastro de Parrillas, Hornos de Barro y Carros Ambulantes para Uso Comercial que Utilicen Leña y sus Derivados en la RMS” o Parrillas 2022. Este estudio presenta información para la provincia de Santiago. La metodología para obtener información para el resto de las provincias fue primeramente utilizando la cantidad de restaurantes en cada una de estas zonas geográficas, lo cual fue obtenido del SII. Luego fue determinado el porcentaje de restaurantes que utilizan parrilladas respecto del total encontrado en las encuestas del estudio Parrillas 2022 en la provincia de Santiago. Este porcentaje fue utilizado para determinar una aproximación de la cantidad de restaurantes de parrilladas en el resto de las provincias.

Tabla 57. Estimación de la cantidad de restaurantes con parrilladas que utilizan leña, carbón o derivados en la RM.

Provincia	Cantidad de restaurantes
Santiago	104
Cordillera	16
Chacabuco	6
Maipo	12
Melipilla	7
Talagante	7
Total	152

En cuanto a la caracterización del consumo, la cantidad de horas promedio al año en que se utilizan las parrillas es de 2.897 horas con un total de 6.514 kg de carbón al año por restaurante. Este consumo se asume igual para el resto de los restaurantes en las demás provincias.

Los factores de emisión para las parrillas son obtenidos del estudio de Pechan & Associates y del estudio de McDonald. Estos están dados en función de la masa de carne consumida [g/kg], por lo que, para obtener los factores de emisión en función del carbón utilizado se aplica una conversión dada por la EPA⁵ que considera 0,588 kg de carne consumida por kg de carbón. Así, los factores de emisión utilizados se presentan a continuación.

Tabla 58. Factores de emisión para restaurantes de parrilladas.

Factores de emisión (g/kg)				
OC	BC	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO
5,78	0,11	5,88	4,75	4,61

Hornos de barro

Del levantamiento de información del estudio Parrillas 2022, se catastraron un total de 66 hornos de barro en la RM excluyendo la provincia de Santiago. De estos, fueron realizadas encuestas en 24 de ellos. Para el cálculo de emisiones serán considerados los 66 hornos identificados, a los cuales el presente inventario considera una actividad idéntica al de los que fueron encuestados. No serán considerados hornos de barro para la provincia de Santiago.

Tabla 59. Hornos de barro en la Región Metropolitana.

Provincia	Cantidad de hornos
-----------	--------------------

⁵ RESIDENTIAL BARBECUE GRILLING.

https://gaftp.epa.gov/air/nei/2017/doc/supporting_data/nonpoint/Residential%20Barbecue%20Grilling%20NEMO%20FINAL_4-2%20update.docx

Santiago	0
Cordillera	22
Chacabuco	7
Maipo	5
Melipilla	17
Talagante	15
Total	66

De forma idéntica a lo explicado en el apartado de los restaurantes de parrilladas, se considera que la cantidad de horas al año por equipo y consumo de leña son las horas y consumo promedio de los hornos sobre los cuales se hicieron encuestas.

- Cantidad de horas al año por equipo: 1.846 hr/año
- Cantidad de leña al año por horno: 786 kg/año

Los factores de emisión para hornos de barro dedicados a la producción de pan y empanadas y que usan leña como combustible, se puede obtener de los factores EPA sugeridos en el AP 42 capítulo 1.10 Residential Wood Stoves:

Tabla 60. Factores de emisión hornos de barro.

Factores de emisión (g/kg)				
OC	BC	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO
26,5	0,26	15,3	15,3	115,4

Carros ambulantes

A diferencia del caso de hornos de barro, para la caracterización de carros ambulantes es considerada solamente la provincia de Santiago, esto debido a que la información disponible del estudio Parrillas 2022 considera únicamente esta zona geográfica. Del levantamiento y encuestas realizadas se identificaron un total de 33 carros ambulantes, en donde se obtiene un total de 1.658 horas al año y 1.355 kg de carbón anuales por carro.

Los factores de emisión para carros ambulantes se utilizarán los mismos que en el estudio Parrillas 2022, estos fueron obtenidos por la EPA en el estudio realizado en México. Estos factores de emisión se encuentran en unidades de [g/hr]:

Tabla 61. Factores de emisión Carros Ambulantes.

Factores de emisión (g/hr)					
NO _x	THC	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO	COV
8,91	11,4	26	20,8	479,8	2,46

Parrillas residenciales

Finalmente, para realizar la caracterización de las parrillas residenciales, se utilizaron los datos obtenidos de las encuestas realizadas en el estudio In-Data 2022. De las encuestas desarrolladas en la primera etapa se obtienen los siguientes porcentajes que declara realizar asados en parrillas a carbón en el hogar:

Tabla 62. Porcentaje de hogares que declaran realizar asados en parrillas a carbón en la RM. Fuente: Estudio 2022.

	Conchalí-El Bosque-La Pintana-Lo Barnechea	Cordillera-Maipo	Chacabuco	Melipilla	Talagante
NO	44%	59%	38%	58%	35%
SÍ	56%	41%	62%	42%	65%

Así, aplicando estos porcentajes a la cantidad de viviendas obtenidas de la encuesta Casen 2022 se obtiene la siguiente cantidad de parrillas por provincia:

Tabla 63. Cantidad de parrillas por provincia.

Provincia	Cantidad de parrillas
Santiago	967.220
Cordillera	77.136
Chacabuco	60.481
Maipo	63.111
Melipilla	30.014
Talagante	66.368
Total	1.264.330

Debido que las encuestas fueron realizadas para cuatro comunas de la provincia de Santiago, es asumido el mismo porcentaje para el resto de las comunas de la misma provincia. Además, estos valores consideran la cantidad de casas y departamentos en Santiago.

Tabla 64. Cantidad de viviendas en la provincia de Santiago. Desglose por casas y departamentos. Fuente: Censo 2017.

	Cantidad de Viviendas	Casas (79,7%)	Departamentos (17,5%)
Santiago	2.158.634	1.720.431	377.761

De las 1.720.431 casas, y utilizando el porcentaje que sí declara realizar asados en comunas de la provincia de Santiago (56%), se estima que la cantidad de casas que realizan asados es 963.442. Asumiendo 100 departamentos por edificio residencial y una parrilla por edificio se obtienen 3.778 parrillas adicionales. Si bien puede ser debatible la cantidad de departamentos por edificio, la contribución de parrillas en departamentos es del 0,4% del total, por lo que el aporte de parrillas en

departamentos es poco significativo respecto al aporte de las casas. Así, el total de parrillas para la provincia de Santiago es de 967.220.

La cantidad de horas promedio al año por parrilla se muestra a continuación

Tabla 65. Horas promedio al año por parrilla residencial. Fuente: Estudio In-Data 2022.

Provincia	Cantidad de horas promedio al año por parrilla (hr/año)
Santiago	19,5
Cordillera	30,9
Chacabuco	18,9
Maipo	30,9
Melipilla	24,1
Talagante	24,4

Los factores de emisión para CO, NO_x, MP₁₀, MP_{2,5} y COV provienen del informe de la EPA: Emissions from Street Vendor Cooking Devices (Charcoal Grilling). Distrito de Administración de la Calidad del Aire de la Costa Sur¹², Regla 1174. Los factores de emisión de HAP son factores de especiación de la base de datos SPECIATE de la EPA, que son factores de especiación para la carne asada al carbón.

Tabla 66. Factores de emisión para parrillas residenciales.

Contaminante	Factor emisión (g/kg)	Factor emisión* (g/hr)
MP ₁₀	9,21	26,35
MP _{2,5}	8,75	25,03
CO	165,68	463,98
NO _x	3,56	6,26
COV	366,22	2,67

5.1.2 Planilla Excel con la compilación de toda la información numérica que permita definir los niveles de actividad asociados al sector residencial y sus distintas fuentes de emisión.

La información resumida recopilada de los distintos estudios y encuestas se encuentra en una carpeta drive

https://drive.google.com/drive/folders/1z6jRFUQCplgqAdi-k0diyL94efFP_N2I?usp=sharing




Nombre	↑
 Repositorio digital	
Nombre	↑
 Datos Inventario de emisiones.xlsx 	

Figura 41. Repositorio digital.

5.2 Resultados del inventario de emisiones residenciales RM

En este capítulo se presentan los resultados del inventario de emisiones residenciales para cada una de las fuentes de emisión consideradas. Se muestra además un resumen general de los resultados obtenidos, así como una comparación con respecto al inventario Usach 2014.

Resultados Calefacción a Leña

Los resultados del inventario de emisiones por calefacción a leña se muestran a continuación. En primer lugar, se presenta un resumen de las emisiones por contaminante en cada una de las provincias. Posteriormente se encuentra el detalle de emisiones por cada uno de los artefactos a leña desglosado por provincia en la Región Metropolitana

Tabla 67. Emisiones por provincia de cada contaminante considerado para la leña.

	Emisión de contaminante (t/año)									
	MP _{2,5}	MP ₁₀	CO	NO _x	COV	SO _x	NH ₃	CO ₂	CH ₄	Total
Santiago	113	116	1.096	12	655	2	10	15.392	89	17.484
Cordillera	172	176	1.640	18	1.043	2	15	22.904	132	26.103
Chacabuco	274	280	2.619	28	1.631	4	24	36.648	211	41.719
Maipo	301	307	2.860	31	1.819	4	26	39.942	230	45.519
Melipilla	238	242	2.348	26	1.294	4	21	33.170	191	37.533
Talagante	224	229	2.244	24	1.208	3	21	31.754	183	35.890

Total	1.322	1.349	12.806	139	7.650	19	116	179.809	1.037	204.248
--------------	--------------	--------------	---------------	------------	--------------	-----------	------------	----------------	--------------	----------------

Tabla 68. Emisiones de MP₁₀ de cada tipo de calefactor por provincia.

Emisiones de MP ₁₀ (t/año)								
	Brasero	Salamandra	Cámara simple	Cámara doble	Chimenea abierta	Estufa a Pellets	Estufa hechiza	Cocina a leña
Santiago	0	48,6	1,2	41,6	2,2	0	20	1,9
Cordillera	0	77,6	1	54,7	2,5	0,1	34,6	5,6
Chacabuco	0	164,9	4,3	90,5	5,2	0	14,7	0
Maipo	0	135,3	1,8	95,5	4,3	0,1	60,3	9,7
Melipilla	0	38,6	4,9	101,6	7,9	0	89,4	0
Talagante	0,3	107,3	1,4	102,1	3,5	0,1	10	4

Tabla 69. Emisiones de MP_{2,5} de cada tipo de calefactor por provincia.

Emisiones de MP _{2,5} (t/año)								
	Brasero	Salamandra	Cámara simple	Cámara doble	Chimenea abierta	Estufa a Pellets	Estufa hechiza	Cocina a leña
Santiago	0	47,6	1,2	40,7	2,1	0	19,6	1,9
Cordillera	0	76	1	53,7	2,4	0,1	33,9	5,5
Chacabuco	0	161,6	4,2	88,7	5,1	0	14,4	0
Maipo	0	132,6	1,7	93,6	4,2	0,1	59,1	9,5
Melipilla	0	37,8	4,8	99,6	7,8	0	87,7	0
Talagante	0,2	105,2	1,4	100,1	3,5	0,1	9,8	3,9

Tabla 70. Emisiones de NO_x de cada tipo de calefactor por provincia.

Emisiones de NO _x (t/año)								
	Brasero	Salamandra	Cámara simple	Cámara doble	Chimenea abierta	Estufa a Pellets	Estufa hechiza	Cocina a leña
Santiago	0	4,1	0,1	5,5	0,2	0	1,8	0,2
Cordillera	0	6,6	0,1	7,3	0,2	0	3,2	0,5
Chacabuco	0	14	0,4	12	0,4	0	1,3	0
Maipo	0	11,5	0,1	12,7	0,3	0,1	5,5	0,8
Melipilla	0	3,3	0,4	13,5	0,6	0	8,2	0
Talagante	0	9,1	0,1	13,5	0,3	0	0,9	0,3

Tabla 71. Emisiones de SO_x de cada tipo de calefactor por provincia.

Emisiones de SO _x (t/año)								
	Brasero	Salamandra	Cámara simple	Cámara doble	Chimenea abierta	Estufa a Pellets	Estufa hechiza	Cocina a leña
Santiago	0	0,57	0,01	0,76	0,02	0	0,24	0,02

Cordillera	0	0,91	0,01	1,01	0,03	0	0,41	0,06
Chacabuco	0	1,94	0,05	1,66	0,05	0	0,17	0
Maipo	0	1,59	0,02	1,75	0,04	0,01	0,71	0,1
Melipilla	0	0,45	0,06	1,87	0,08	0	1,05	0
Talagante	0	1,26	0,02	1,88	0,04	0,01	0,12	0,04

Tabla 72. Emisiones de CO de cada tipo de calefactor por provincia.

Emisiones de CO (t/año)								
	Brasero	Salamandra	Cámara simple	Cámara doble	Chimenea abierta	Estufa a Pellets	Estufa hechiza	Cocina a leña
Santiago	0,3	401,1	9,2	489,6	15,9	1,2	165,1	13,9
Cordillera	0,0	640,3	7,6	644,7	18,0	2,9	285,5	40,8
Chacabuco	0,0	1.361,3	32,3	1.065,9	38,2	0,0	121,4	0,0
Maipo	0,0	1.116,7	13,2	1.124,2	31,3	5,1	498,0	71,1
Melipilla	0,0	318,4	36,8	1.196,2	58,0	0,0	738,4	0,0
Talagante	2,9	886,0	10,9	1.202,5	25,8	4,2	82,2	29,3

Tabla 73. Emisiones de COV de cada tipo de calefactor por provincia.

Emisiones de COV (t/año)								
	Brasero	Salamandra	Cámara simple	Cámara doble	Chimenea abierta	Estufa a Pellets	Estufa hechiza	Cocina a leña
Santiago	0,1	363,6	2,1	112,4	14,5	0,3	149,6	12,6
Cordillera	0,0	580,5	1,7	148,0	16,3	0,7	258,9	37,0
Chacabuco	0,0	1.234,1	7,4	244,8	34,6	0,0	110,1	0,0
Maipo	0,0	1.012,3	3,0	258,2	28,4	1,2	451,4	64,5
Melipilla	0,0	288,7	8,4	274,7	52,6	0,0	669,4	0,0
Talagante	0,7	803,2	2,5	276,1	23,4	1,0	74,5	26,6

Tabla 74. Emisiones de NH₃ de cada tipo de calefactor por provincia.

Emisiones de NH ₃ (t/año)								
	Brasero	Salamandra	Cámara simple	Cámara doble	Chimenea abierta	Estufa a Pellets	Estufa hechiza	Cocina a leña
Santiago	0,00	3,49	0,09	4,67	0,14	0,01	1,44	0,12
Cordillera	0,00	5,58	0,07	6,14	0,16	0,03	2,49	0,36
Chacabuco	0,00	11,86	0,31	10,16	0,33	0,00	1,06	0,00
Maipo	0,00	9,73	0,13	10,72	0,27	0,05	4,34	0,62
Melipilla	0,00	2,77	0,35	11,40	0,51	0,00	6,43	0,00
Talagante	0,03	7,72	0,10	11,46	0,22	0,04	0,72	0,26

Tabla 75. Emisiones de CO₂ de cada tipo de calefactor por provincia.

Emisiones de CO ₂ (t/año)								
	Brasero	Salamandra	Cámara simple	Cámara doble	Chimenea abierta	Estufa a Pellets	Estufa hechiza	Cocina a leña
Santiago	4,01	5.399	136,10	7.212	214,66	17,49	2.221,9	186,62

Cordillera	0,00	8.619	111,76	9.496	241,61	42,95	3.843,5	548,85
Chacabuco	0,00	18.323	475,18	15.702	513,65	0,00	1.634,2	0,00
Maipo	0,00	15.030	194,89	16.561	421,34	74,91	6.702,5	957,12
Melipilla	0,00	4.286	541,87	17.622	780,98	0,00	9.938,7	0,00
Talagante	42,92	11.925	160,82	17.714	347,67	61,81	1.106,1	394,89

Tabla 76. Emisiones de CH₄ de cada tipo de calefactor por provincia.

Emisiones de CH ₄ (t/año)								
	Brasero	Salamandra	Cámara simple	Cámara doble	Chimenea abierta	Estufa a Pellets	Estufa hechiza	Cocina a leña
Santiago	0,02	31,12	0,78	41,58	1,24	0,10	12,81	1,08
Cordillera	0,00	49,69	0,64	54,75	1,39	0,25	22,16	3,16
Chacabuco	0,00	105,63	2,74	90,52	2,96	0,00	9,42	0,00
Maipo	0,00	86,64	1,12	95,47	2,43	0,43	38,64	5,52
Melipilla	0,00	24,71	3,12	101,59	4,50	0,00	57,29	0,00
Talagante	0,25	68,75	0,93	102,12	2,00	0,36	6,38	2,28

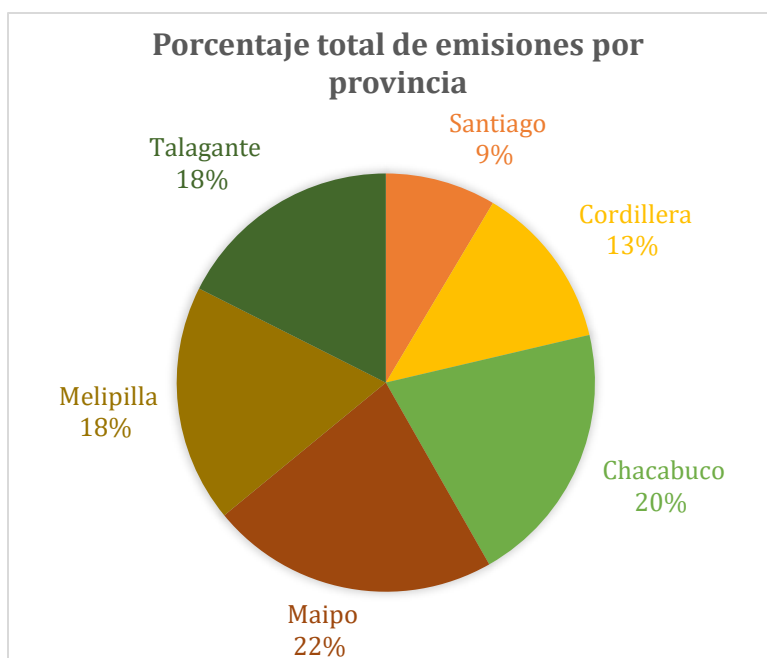


Figura 42. Porcentaje total de emisiones por provincia.

Cabe mencionar que las características del consumo han cambiado en los últimos años. En particular durante la última década la cantidad de artefactos en la Región Metropolitana ha notado un gran descenso. Esto puede explicarse por el aumento en las restricciones de uso de este tipo de equipos, especialmente en la provincia de Santiago.

Por otro lado, el consumo de leña también ha disminuido. Realizando una comparación entre el estudio CDT 2012 e In-Data 2022, se observa que en los equipos más utilizados (Salamandra y doble cámara) el consumo ha experimentado una disminución de 728 kg/año y 969 kg/año respectivamente.

Tabla 77. Comparación promedio consumo de leña por equipo calefactor 2012/2022 en kg/año.

Artefacto	CDT 2012	In-Data 2022	Δ%
Doble Cámara	1.315	587	-55%
Salamandra	1.256	560	-55%
Simple	1.301	266	-80%
Chimenea	3.584	248	-93%
Pellet	1.345	107	-92%
Cocina	2.762	914	-67%

Además de la disminución en la cantidad de artefactos y leña consumida, el ciclo de uso también ha tenido tendencia a la baja. El mayor uso de los calefactores ocurre en los meses de invierno, especialmente en junio y julio. Mientras que en el año 2012 en estos meses los equipos a leña se utilizaban en promedio 250 horas al mes por equipo, para el año 2022 se tiene registro de un uso de 124 horas/mes para el mes de junio y 151 horas/mes en julio.

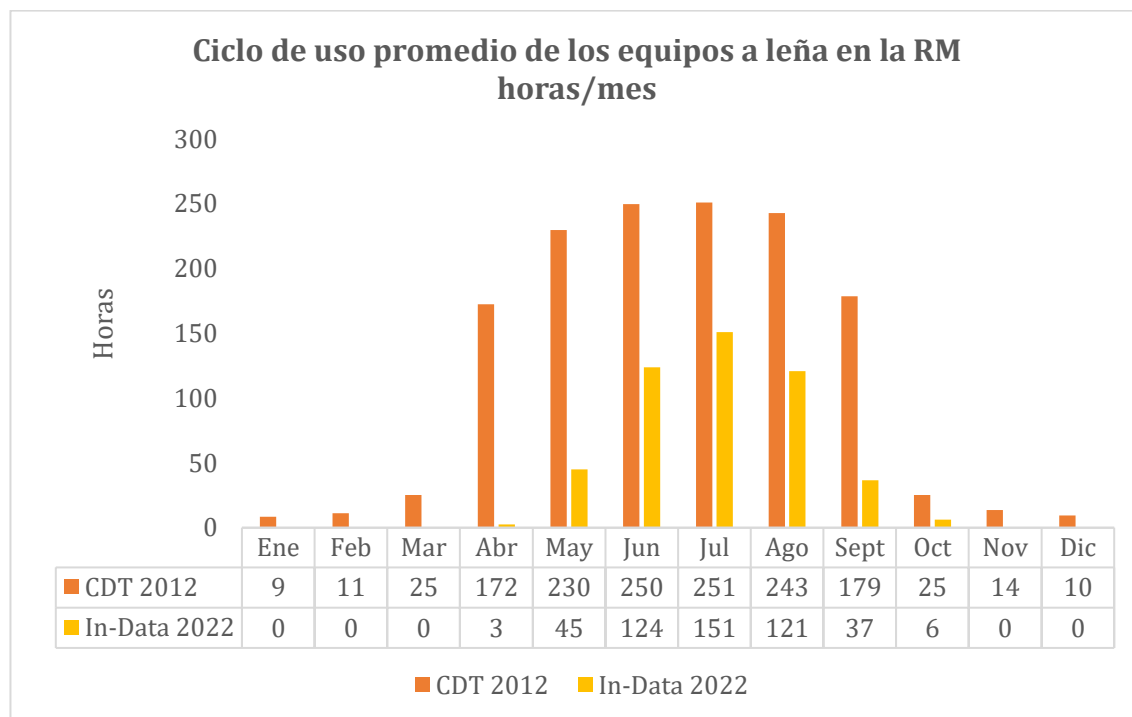


Figura 43. Comparación del ciclo de uso de los equipos a leña.

Resultados calefacción otros combustibles

Tabla 78. Emisiones residenciales por gas natural.

Combustible	Contaminante	Emisión (t/año)
Gas natural	MP ₁₀	10,2
	MP _{2,5}	10,2
	CO	451,5
	COV	29,6
	NH ₃	2,6
	NO _x	536,9
	SO ₂	3,2

Tabla 79. Emisiones residenciales por gas licuado.

Combustible	Contaminante	Emisión (t/año)
Gas licuado	MP ₁₀	43,5
	MP _{2,5}	43,5
	CO	915,5
	COV	-
	NH ₃	-
	NO _x	1523,7
	SO ₂	1,4

Tabla 80. Emisiones residenciales por kerosene.

Combustible	Contaminante	Emisión (t/año)
Kerosene	MP ₁₀	10,9
	MP _{2,5}	2,9
	CO	51,6
	COV	3,6
	NH ₃	10,2
	NO _x	205,5
	SO ₂	304,9

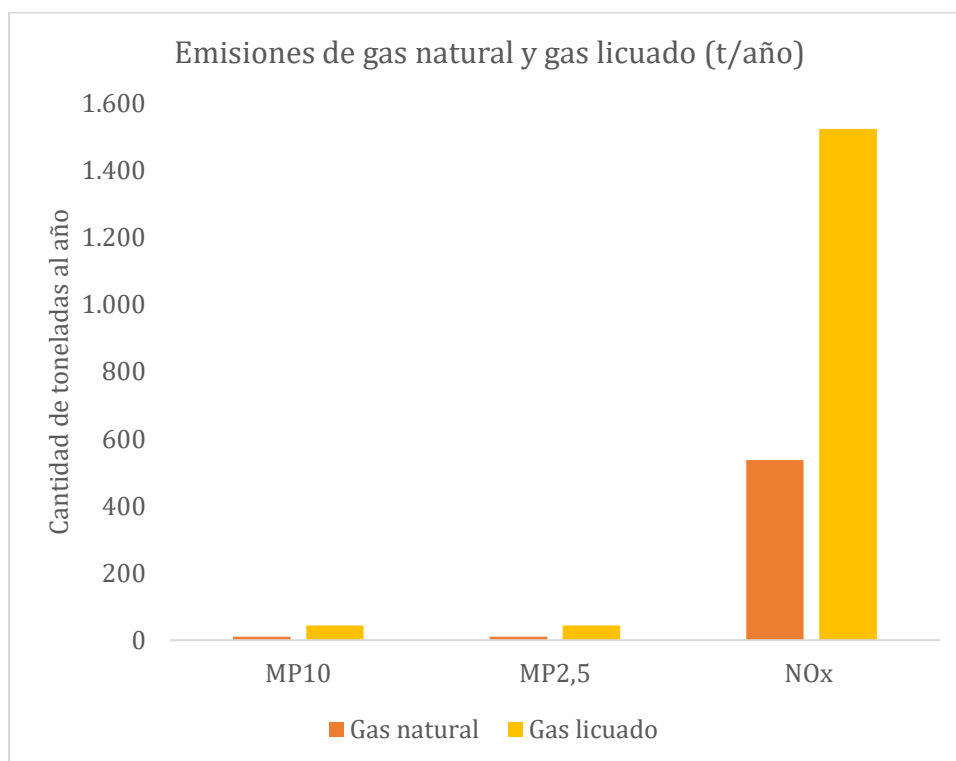


Figura 44. Comparación del resultado de emisiones GN y GLP.

De los resultados presentados, se observa que el gas licuado emite 33,3 t/año de MP₁₀ más que el gas natural. Eso se explica por el menor factor de emisión que tiene el gas natural con respecto al gas licuado, además de la menor penetración que tiene el gas natural en las viviendas de la RM con respecto al gas licuado, según indica Casen 2022.

Tabla 81. Resultados del inventario de emisiones In-Data 2023 y Usach 2014 para "otros combustibles".

Combustible	Estudio	Contaminante (t/año)						
		MP ₁₀	MP _{2,5}	NH ₃	SO ₂	CO	COV	NO _x
Gas natural	In-Data 2023	10,2	10,2	2,6	3,2	451,5	29,6	537
	Usach 2014	42,0	40,0	-	2,0	147,0	-	344
Gas licuado	In-Data 2023	43,5	43,5	-	1,4	915,5	-	1.524
	Usach 2014	32,0	30,0	2,0	1,0	211,0	-	1.036
Kerosene	In-Data 2023	10,9	2,9	10,2	304,9	51,6	3,6	206
	Usach 2014	25,0	24,0	8,0	291,0	49,0	-	176

Respecto de los resultados del presente inventario con los obtenidos por el Inventario Usach 2014, se observan diferencias en los contaminantes, especialmente en la cantidad de MP y NO_x del gas natural, esto se puede explicar por la diferencia en el factor de emisión utilizado.

Resultados Restaurantes de Parrilladas

Tabla 82. Resultados del inventario de emisiones. Restaurantes de parrilladas.

Provincia	Emisiones de restaurantes con parrilladas (kg/año)				
	OC	BC	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO
Santiago	3.916	75	3.983	3.218	3.123
Cordillera	602	11	613	495	480
Chacabuco	226	4	230	186	180
Maipo	452	9	460	371	360
Melipilla	264	5	268	217	210
Talagante	264	5	268	217	210
Total	5.723	109	5.822	4.703	4.564

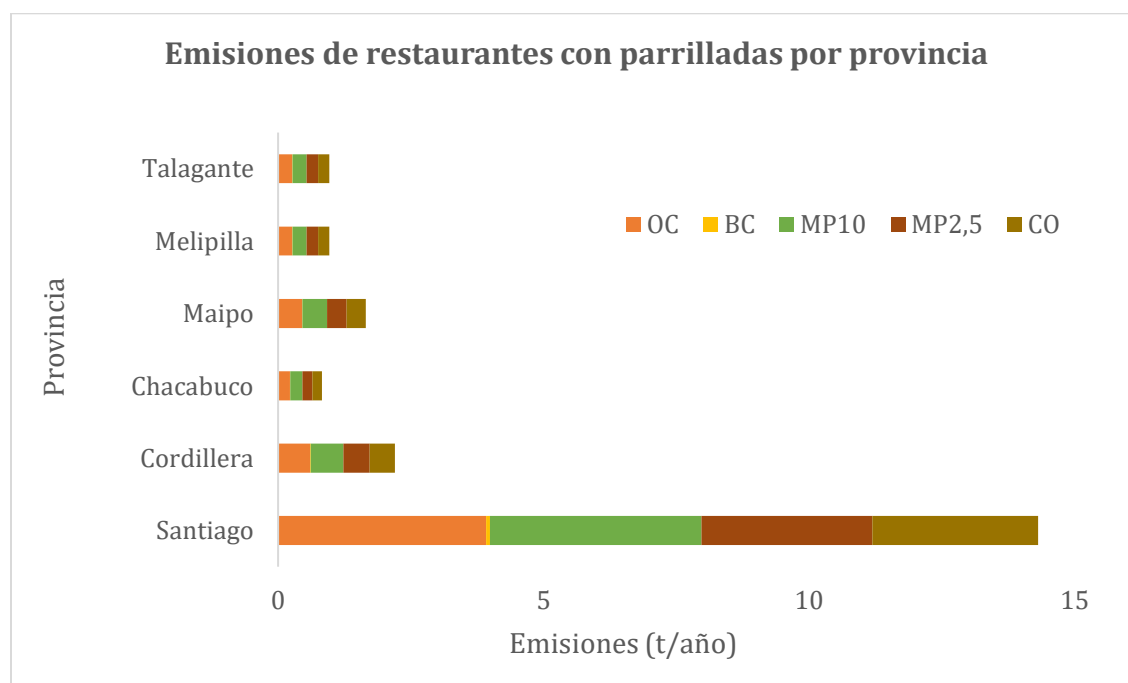


Figura 45. Emisiones de restaurantes por provincia.

De estos resultados se obtiene que en promedio un restaurante de parrillada emite 38 (kg/año) de MP₁₀ al año y 30,9 (kg/año) de MP_{2,5}. Los restaurantes de parrilladas de la provincia de Santiago emiten el 68% del total de material particulado del total emitidos por este tipo de restaurantes. El total de 152 restaurantes considerados emiten un total de 5,8 (t/año) y 4,78 (t/año) de MP₁₀ y MP_{2,5} respectivamente.

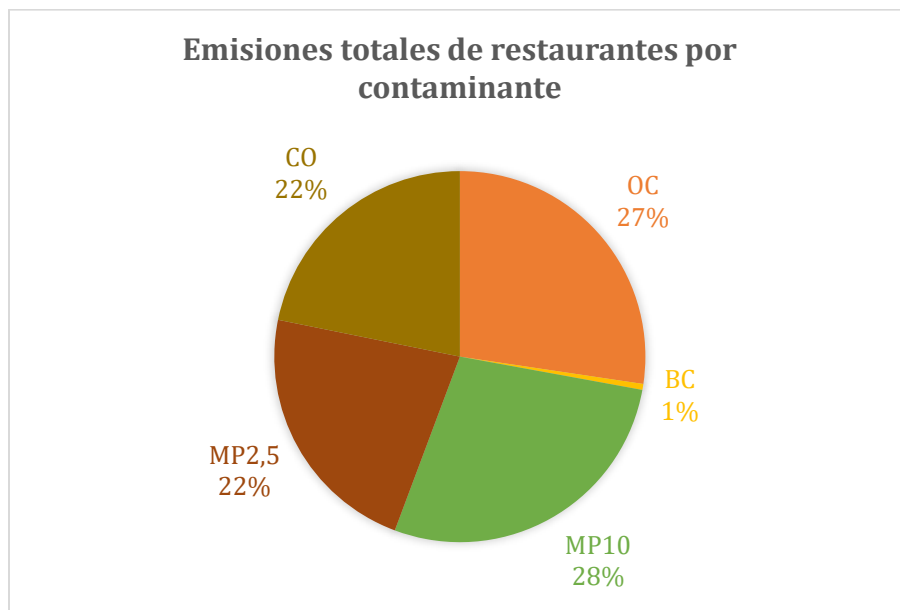


Figura 46. Emisiones totales de restaurantes por contaminante.

Resultados Hornos de Barro

Tabla 83. Emisiones de hornos de barro.

Provincia	Emisiones de hornos de barro (kg/año)				
	OC	BC	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO
Santiago	-	-	-	-	-
Cordillera	458	4	265	265	1.995
Chacabuco	146	1	84	84	635
Maipo	104	1	60	60	454
Melipilla	354	3	204	204	1.542
Talagante	312	3	180	180	1.361
Total	1.375	13	794	794	5.986

Considerando 66 hornos, 1.846 (horas/año) de uso y 786 (kg/año) de consumo de leña se obtiene un total de 794 (kg/año) de emisiones de MP₁₀. Esto implica que cada horno emite 12 kg de MP₁₀ al año.

La mayor cantidad de contaminantes es emitida en la provincia de cordillera con 265 kg de MP₁₀, que corresponde a un 33,4% de las emisiones de MP₁₀ debido al uso de hornos de barro.

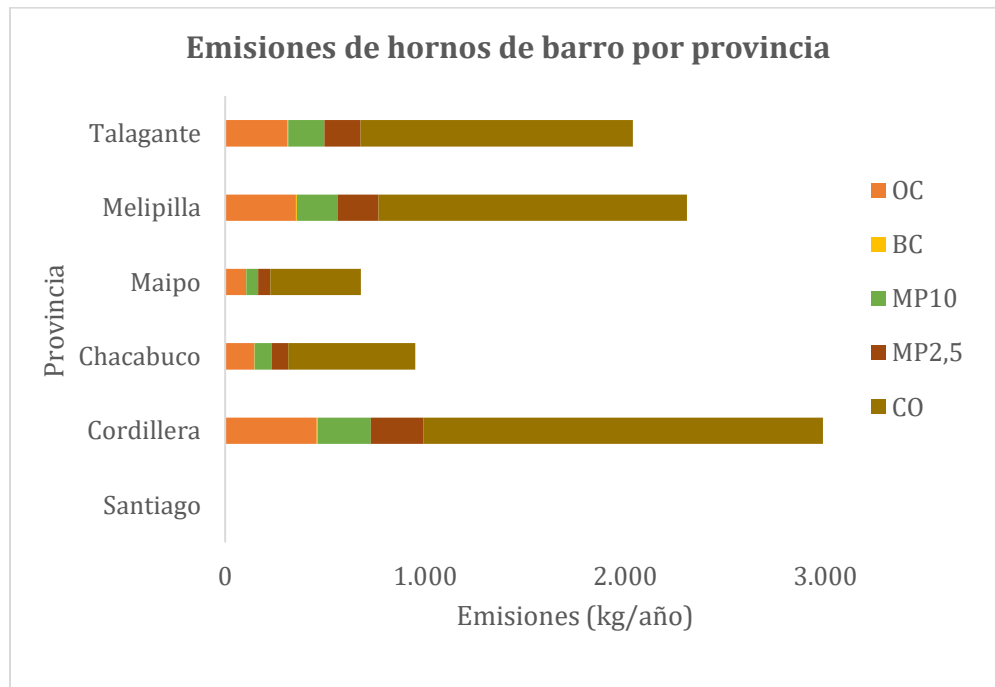


Figura 47. Emisiones de Hornos de Barro por provincia.

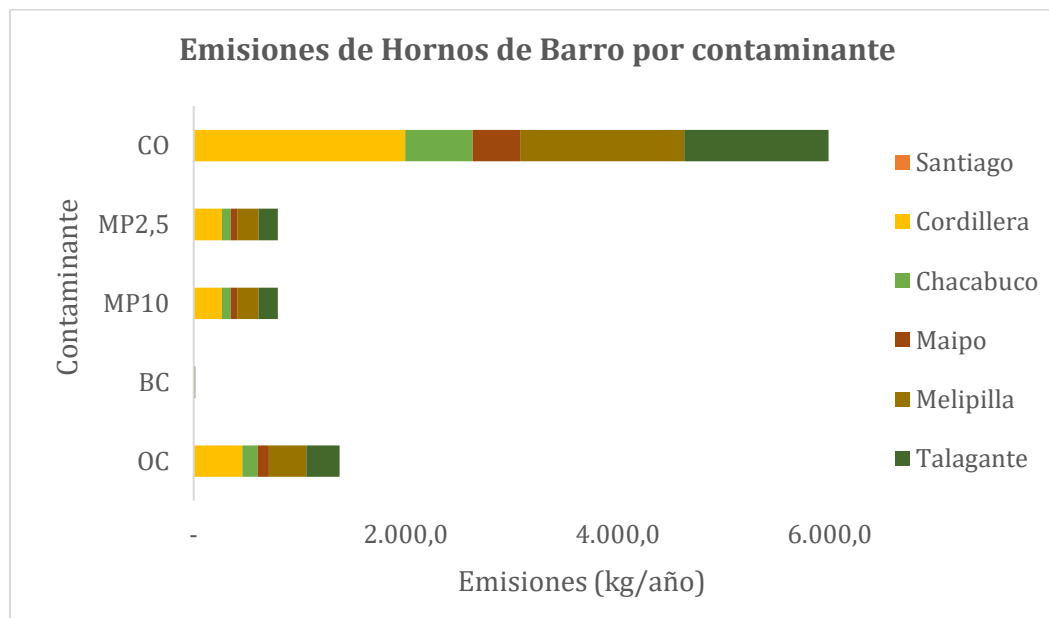


Figura 48. Emisiones de Hornos de Barro por contaminante.

Resultados Carros ambulantes

Tabla 84. Emisiones de carritos ambulantes.

Provincia	Emisiones de carritos ambulantes (t/año)					
	NO _x	THC	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO	COV
Santiago	0,49	0,62	1,42	1,14	26,25	0,13

Del resultado de las emisiones de los 33 carros ambulantes considerados, se obtuvo que la emisión anual de material particulado 10 es de 43 (kg/año), lo cual implica una emisión total de 1,42 toneladas anuales.

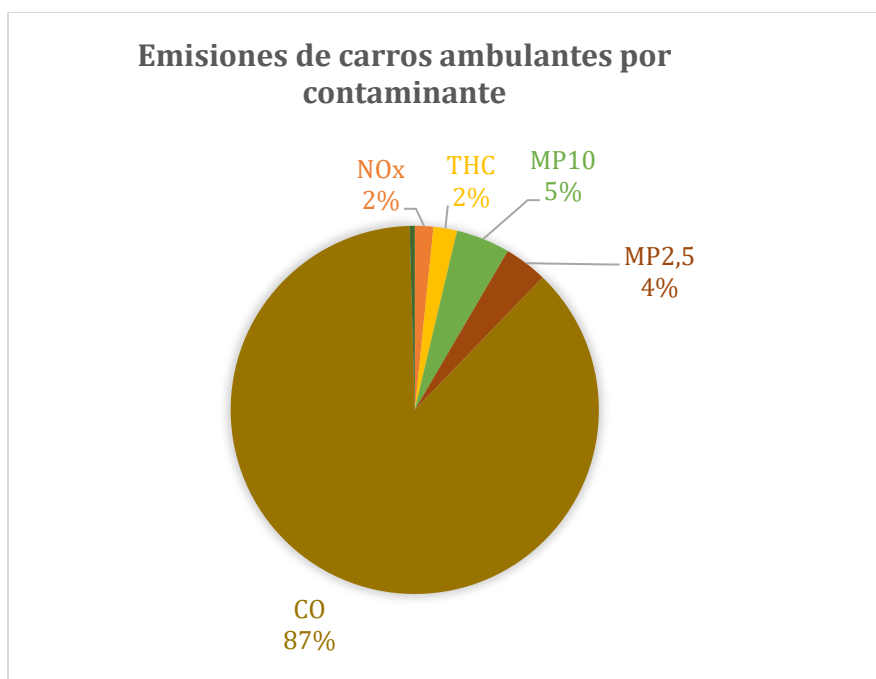


Figura 49. Emisiones por contaminante para carros ambulantes.

Resultados Parrillas Residenciales

Tabla 85. Emisiones de parrillas residenciales.

Provincia	Emisiones de parrillas residenciales (t/año)				
	NO _x	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO	COV
Santiago	118	497	472	8.751	50
Cordillera	15	63	60	1.106	6
Chacabuco	7	30	29	530	3
Maipo	12	51	49	905	5
Melipilla	5	19	18	336	2
Talagante	10	43	41	751	4
Total	167	703	668	12.379	71

Se obtiene que, en promedio, una parrilla en la Región Metropolitana realiza 8,32 asados al año. Además, considerando que un asado tiene una duración de tres horas,

el funcionamiento anual por parrilla es de 24,96 horas. Así, se calcula que cada parrilla emite aproximadamente 0,66 kg de MP₁₀ al año. Considerando las 1.264.330 parrillas residenciales, se obtiene una emisión total de 703,02 (t/año) de MP₁₀ y 668 (t/año) de MP_{2,5}.

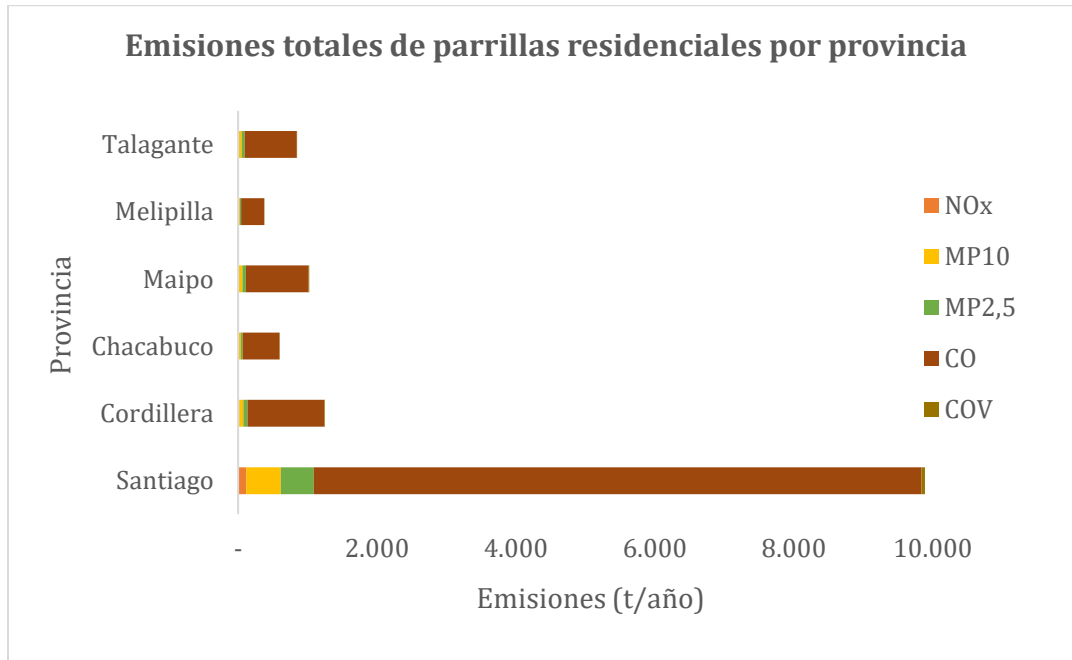


Figura 50. Emisiones totales de parrillas residenciales por provincia.

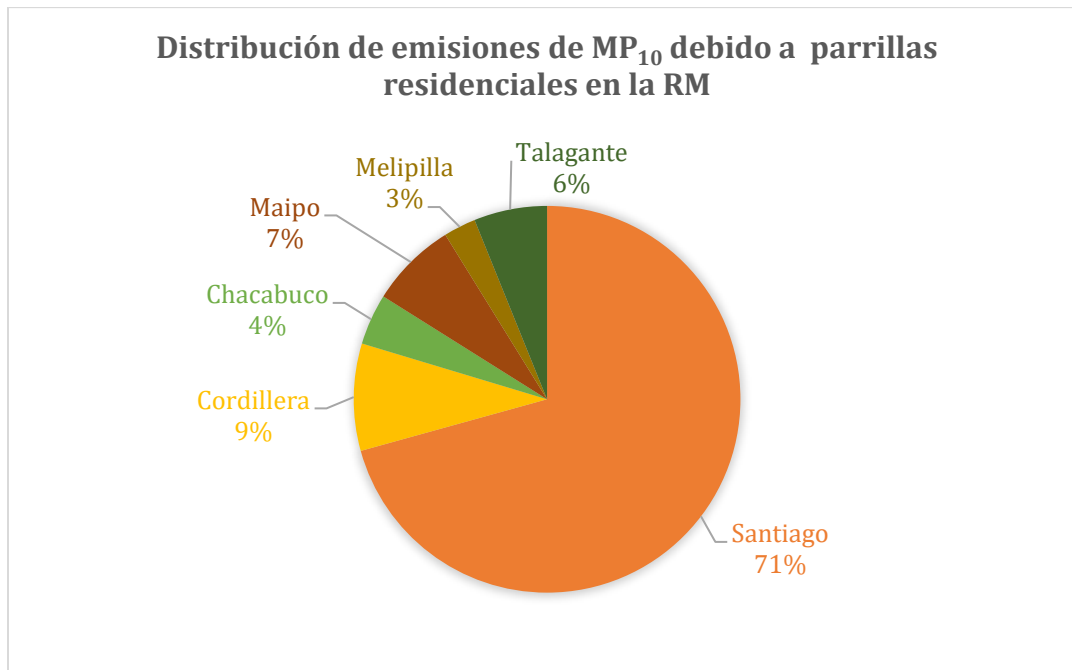


Figura 51. Emisiones de parrillas en casas por provincia.

5.3 Resumen general

Tabla 86. Emisiones totales.

Fuente de emisión	Contaminante (t/año)											
	MP _{2,5}	MP ₁₀	CO	NO _x	COV	SO _x	NH ₃	CO ₂	CH ₄	OC	BC	THC
Calefacción a Leña	1.322	1.349	12.806	139	7.650	19	116	179.809	1.037			
Gas licuado	43,5	43,5	915,5	1.523,70		1,4						
Gas natural	10,2	10,2	451,5	536,9	29,6	3,2	2,6					
Kerosene	2,9	10,9	51,6	205,5	3,6	304,9	10,2					
Restaurante	4,7	5,8	4,6							5,7	0,1	
Hornos	0,79	0,79	5,99							1,37	0,01	
Carritos	1,14	1,42	26,25	0,49	0,13							0,62
Parrillas Residenciales	667,8	703	12.379,10	167	71,2							
Total	2.053,0	2.124,6	26.640,5	2.572,6	7.754,5	328,5	128,8	179.809,0	1.037,0	7,1	0,1	0,6

Inventario de emisiones sector residencial – Región Metropolitana

Emisiones por uso de leña para calefacción

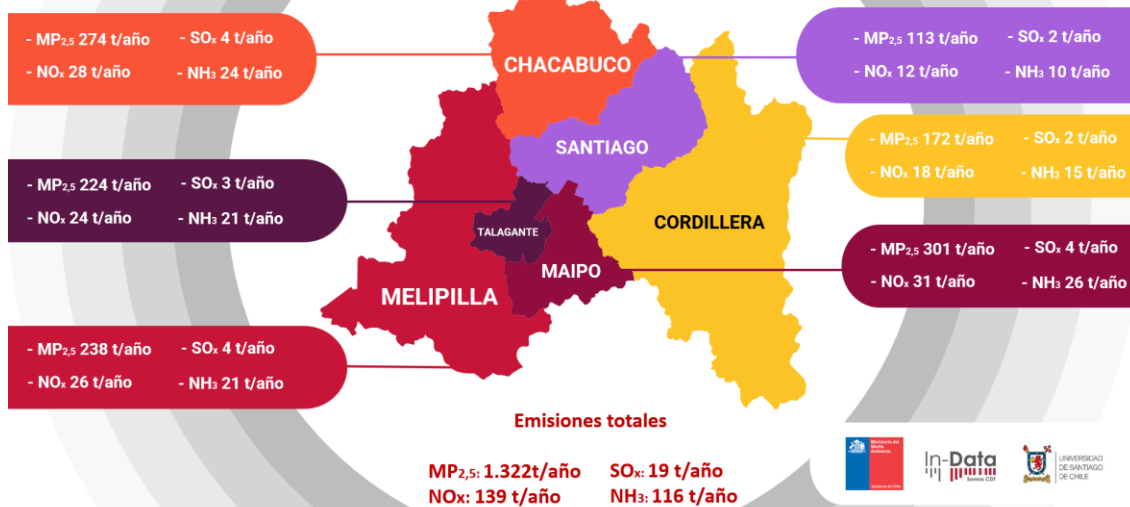


Figura 52. Resumen emisiones residenciales por uso de leña para calefacción.

Inventario de emisiones sector residencial – Región Metropolitana

Emisiones por uso de parrillas residenciales

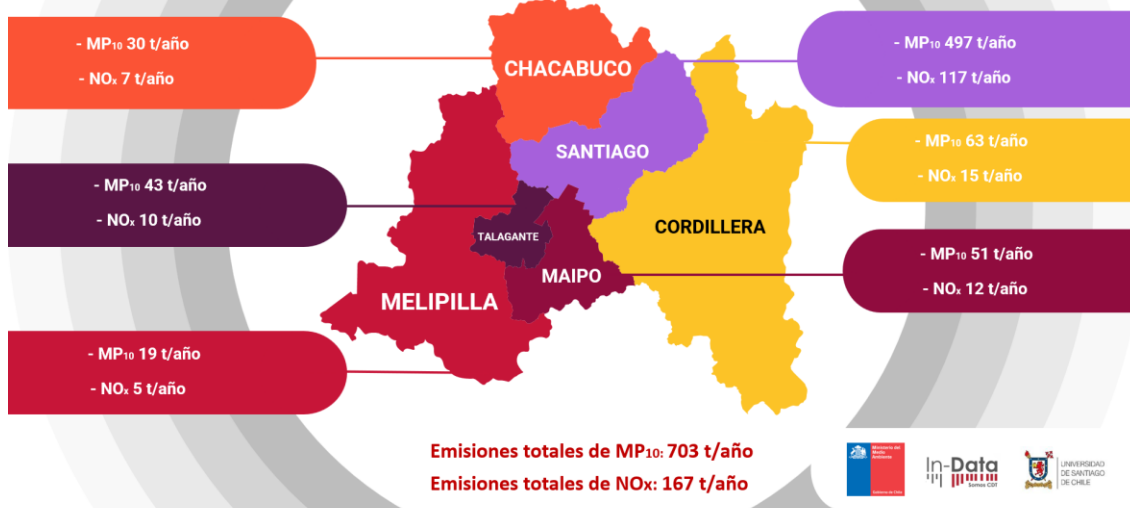


Figura 53. Resumen emisiones residenciales por uso de parrillas residenciales.

6. Referencias

DICTUC (2007). *Actualización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana 2005.*

DICTUC (2007). *Actualización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana Escenario 2010.*

CDT (2012). Propuesta de medidas para el uso eficiente de la leña en la región metropolitana de Santiago.

USACH (2014). *Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana.*

In-Data (2022). *Catastro de emisiones de calefactores y cocinas.*

In-D

In-Data