



INFORME FINAL

**EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN
CALEFACTORES: EVALUACIÓN DE IMPACTO TÉCNICO-
ECONÓMICO-SOCIAL DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ESTÁNDARES
MÍNIMOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN NUEVOS CALEFACTORES
QUE COMBUSTIONAN LEÑA Y PELLET PARA USO RESIDENCIAL**

Informe preparado para



Diciembre de 2021

Preparado por:

Roberto Santander Moya

Iris Silva Castro

Franco Morales Vargas

ATS Energía

La Victoria 0182

La Granja

Santiago, Chile

contacto@atsenergia.cl

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. ANTECEDENTES	16
1.1. OBJETIVOS	17
2. DESCRIPCIÓN DEL MERCADO CHILENO DE CALEFACTORES A LEÑA Y PELLETS DE MADERA	18
2.1. CALEFACTORES A PELLETS DE MADERA.....	18
2.1.1. Caracterización de la cadena de distribución	18
2.1.2. Análisis de la evolución del mercado	31
2.1.3. Correlación de costos de calefactores a pellets de madera en función de la eficiencia, peso y precio	33
2.2. CALEFACTORES A LEÑA	37
2.2.1. Caracterización de la cadena de distribución	37
2.2.2. Análisis de la evolución del mercado	41
2.2.3. Correlación de costos en función de la eficiencia peso y potencia para calefactores a leña	44
2.3. CONSULTA AL MERCADO NACIONAL.....	47
2.4. ANALISIS TRANSVERSALES	50
2.4.1. Calefactores a leña.....	51
2.4.2. Calefactores a pellets de madera	58
2.4.3. Análisis global	63
3. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	69
3.1. ESTADOS UNIDOS	69
3.1.1. Características de programas de MEPS y etiquetado de EE.....	69
3.1.2. Oferta de mercado	74
3.1.3. Metodología de ensayo	80
3.1.4. Impacto.....	85
3.2. CANADÁ	86
3.2.1. Características de programas de MEPS y etiquetado de EE.....	86
3.2.2. Oferta de mercado	88
3.2.3. Metodología de ensayo	90
3.2.4. Impacto.....	91
3.3. AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDA	93

3.3.1.	<i>Características de programas de MEPS y etiquetado de EE.....</i>	93
3.3.2.	<i>Oferta de mercado</i>	94
3.3.3.	<i>Metodología de ensayo</i>	97
3.3.4.	<i>Impacto.....</i>	101
3.4.	NORUEGA.....	102
3.4.1.	<i>Características de programas de MEPS y etiquetado de EE.....</i>	102
3.4.2.	<i>Oferta del mercado</i>	106
3.4.3.	<i>Metodología de ensayo</i>	108
3.4.4.	<i>Impacto.....</i>	110
3.5.	SUIZA	112
3.5.1.	<i>Características de programas de MEPS y etiquetado de eficiencia energética 113</i>	
3.5.2.	<i>Oferta de mercado</i>	117
3.5.3.	<i>Metodología de ensayo</i>	119
3.5.4.	<i>Impacto.....</i>	119
3.6.	CONCLUSIONES DEL ANALISIS INTERNACIONAL.....	120
4.	EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA	127
4.1.	COMPONENTES DE ESTUFAS A LEÑA	134
4.2.	COMPONENTES ESTUFAS A PELLETS DE MADERA	136
4.3.	CORRELACION DE TECNOLOGIAS EN MERCADO INTERNACIONAL CON EFICIENCIA ENERGETICA	138
4.4.	CONCLUSION GENERAL RESPECTO DE EFICIENCIA	139
4.4.1.	<i>Calefactores a Pellets de madera</i>	141
4.4.2.	<i>Calefactores a Leña.....</i>	141
4.5.	ANALISIS DE BARRERAS	142
4.5.1.	<i>Demanda: Resistencia al cambio</i>	142
4.5.2.	<i>Demanda: Precio de combustibles.....</i>	144
4.5.3.	<i>Demanda: Precio de la tecnología</i>	145
4.5.4.	<i>Demanda: Calidad y Disponibilidad del combustible</i>	148
4.5.5.	<i>Puesta en valor de atributos de eficiencia</i>	150
4.5.6.	<i>Procesos de certificación</i>	152
4.5.7.	<i>Oferta: Barreras económicas para el proveedor</i>	153

4.5.8.	<i>Electrificación de la matriz.....</i>	155
5.	CARACTERIZACIÓN DEL USO DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS EN CHILE.....	158
5.1.	CONSUMO TOTAL DE BIOMASA EN EL SECTOR RESIDENCIAL.....	159
5.2.	CARACTERIZACION DEL CONSUMO DE BIOMASA	160
6.	ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE ESCENARIOS DE MEPS	164
6.1.	CONFECCION DEL MEPS BASADO EN INTERVALOS DE CONFIANZA	164
6.1.1.	<i>Calefactores a leña.....</i>	164
6.1.2.	<i>Calefactores a pellets de madera</i>	167
6.2.	ESTANDAR BASADOS EN ANALISIS ESTADISTICO DE CALEFACTORES A LEÑA	170
6.2.1.	<i>Estadística descriptiva de datos para calefactores a leña</i>	170
6.3.	ESTANDAR BASADOS EN ANALISIS ESTADISTICO DE CALEFACTORES A LEÑA Y A PELLETS DE MADERA	177
6.3.1.	<i>Estadística descriptiva de datos para calefactores a pellets.....</i>	177
6.4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES SOBRE ESCENARIOS	184
7.	IMPACTOS DEL MEPS	186
7.1.	DETERMINACION DEL CASO BASE	186
7.2.	APLICACION METODOLOGIA PAMS	189
7.3.	IMPACTO SOBRE EL CONSUMIDOR	189
7.3.1.	<i>Calefactores a leña.....</i>	189
7.3.2.	<i>Calefactores a pellets de madera</i>	192
7.4.	IMPACTO ECONOMICO	193
7.4.1.	<i>Calefactores a leña.....</i>	193
7.4.2.	<i>Calefactoers a pellets de madera</i>	195
7.5.	IMPACTO AMBIENTAL	196
7.5.1.	<i>Calefactores a leña.....</i>	196
7.5.2.	<i>Calefactores a pellets de madera</i>	198
7.6.	VALORIZACION IMPACTOS AMBIENTALES	199
7.6.1.	<i>Calefactores a leña.....</i>	201
7.6.2.	<i>Calefactores a pellets de madera</i>	202
7.7.	COSTOS Y BENEFICIOS TOTALES.....	202
7.7.1.	<i>Calefactores a leña.....</i>	202

7.7.2.	<i>Calefactores a pellets de madera</i>	203
7.8.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	203
7.8.1.	<i>Crecimiento económico</i>	203
7.8.2.	<i>Horas de operación</i>	¡Error! Marcador no definido.
7.8.3.	<i>Crecimiento del parque de calefactores</i>	205
7.9.	PROPUESTA DE ESTANDAR	209
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	211
9.	REFERENCIAS	214
10.	ANEXOS	217
10.1.	ANEXO 1. CALEFACTORES QUE SE COMERCIALIZAN EN AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDA 217	
10.2.	ANEXO 2: CARACTERIZACION DEL CONSUMO DE BIOMASA EN CHILE DESDE PERSPECTIVA DE CONTAMINACION AMBIENTAL	234
10.2.1.	<i>Región Metropolitana</i>	234
10.2.2.	<i>Valle central de la Región del Libertador General Bernardo O´Higgins</i>	235
10.2.3.	<i>Talca y Maule</i>	236
10.2.4.	<i>Valle central de la provincia de Curicó</i>	238
10.2.5.	<i>Chillán y Chillán Viejo</i>	239
10.2.6.	<i>Concepción Metropolitano</i>	240
10.2.7.	<i>Los Ángeles</i>	241
10.2.8.	<i>Temuco y Padre Las Casas</i>	242
10.2.9.	<i>Valdivia</i>	244
10.2.10.	<i>Osorno</i>	245
10.2.11.	<i>Coyhaique y su zona circundante</i>	247
10.3.	ANEXO 3: CONSULTA A AGENTES DEL MERCADO NACIONAL	249
10.4.	ANEXO 4: DETALLE DE VARIACION DE EMISIONES Y CONCENTRACIONES POR LOCALIDAD.....	253
10.5.	ANEXO 5: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE EMISIONES DE MP2,5 Y SU IMPACTO EN CHILE 258	
10.5.1.	<i>calefactores a leña</i>	258
10.5.2.	<i>Calefactores a pellets de madera</i>	261

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cantidad de calefactores a pellets de madera certificados, por año.....	19
Figura 2. Participación en el mercado de calefactores a pellets de madera, periodo 2017-2021	20
Figura 3. Número de calefactores a pellet certificados en Chile, según año y categoría de eficiencia energética	31
Figura 4. Eficiencia versus potencia térmica de calefactores a pellets de madera, por año	32
Figura 5. Eficiencia versus emisiones de MP de calefactores a pellets de madera, por año	33
Figura 6. Regresión lineal del precio en función de la potencia (kW), calefactores a pellets de madera	35
Figura 7. Relación peso de calefactores a pellets de madera en función de la potencia.	36
Figura 8. Cantidad de calefactores a leña certificados, por año.....	37
Figura 9. Participación en el mercado de calefactores a leña, periodo 2014-2021	38
Figura 10. Calefactores a leña certificados en Chile, según año y categoría de eficiencia energética	42
Figura 11. Eficiencia versus potencia térmica de calefactores a leña, por año.....	43
Figura 12. Eficiencia versus emisiones de MP de calefactores a leña, por año	44
Figura 13. Regresión lineal de eficiencia en función de la potencia (kW), calefactores a leña	45
Figura 14. Relación peso de calefactores a leña en función de la potencia.....	47
Figura 15. Eficiencia de calefactores a leña en función del rango de potencia.....	54
Figura 16. Emisiones de MP de calefactores a leña en función del rango de potencia.....	55
Figura 17. Potencia en función de eficiencia y precios, calefactores a leña menor a 8 kW	55
Figura 18. Potencia en función de eficiencia y precios, calefactores a leña mayor o igual a 8 y menor a 10 kW	56
Figura 19. Potencia en función de eficiencia y precios, calefactores a leña, mayor o igual a 10 y menor a 12 kW	56
Figura 20. Potencia en función de eficiencia y precios, calefactores a leña, mayor o igual a 12 y menor a 14 kW	57
Figura 21. Potencia en función de eficiencia y precios, calefactores a leña.....	57
Figura 22. Eficiencia de calefactores a pellets de madera en función del rango de potencia	61
Figura 23. Emisiones de MP de calefactores a pellets de madera en función del rango de potencia	62
Figura 24. Potencia en función de la eficiencia y precios, calefactores a pellets	62
Figura 25. Eficiencia vs potencia de calefactores.....	63
Figura 26. Emisiones de MP _{2,5} vs potencia de calefactores	64
Figura 27. Emisiones de MP _{2,5} vs eficiencia de calefactores	64
Figura 28. Evolución de la eficiencia de calefactores.....	66
Figura 29. Evolución de las emisiones de material particulado en calefactores	67
Figura 30. Eficiencia de calefactores según rango de potencia	68
Figura 31. Emisiones de MP de calefactores según rango de potencia	68
Figura 32. Tipos de configuración de la leña para la realización de pruebas, indicados por EPA	71
Figura 33. Etiqueta voluntaria EPA	74
Figura 34. Eficiencias certificadas para estufas a leña y pellets de madera	77
Figura 35. Eficiencia de los calefactores certificados por EPA según su potencia.....	80
Figura 36. Esquema de método para determinar emisiones de MP, EPA	81

Figura 37. Programa de recambio de calefactores en Columbia Británica	92
Figura 38. Emisiones vs eficiencia en calefactores comercializados en Nueva Zelanda	95
Figura 39. Infraestructura de ensayo según normativa australiana.....	101
Figura 40. Nordic Swan Ecolabel	102
Figura 41. Etiqueta de EE para calefactores de la Comunidad Europea	106
Figura 42. Consumo de energía de hogares en Noruega	111
Figura 43. Miles de hogares que usan calefactores con combustibles sólidos en Noruega	112
Figura 44. Modelo de declaración de productos. Vista frontal.	115
Figura 45. Modelo de declaración de productos. Vista posterior.	116
Figura 46. Rendimiento de calefactores comercializados en Suiza en función de la potencia	119
Figura 47. Disposición esquemática de mejoras tecnológicas de estufas a pellets de madera y de combustión a leña	128
Figura 48. Evolución de la tasa de emisión de material particulado de estufas a leña en función del tiempo.....	129
Figura 49. Evolución de la eficiencia térmica de estufas a leña en función del tiempo....	130
Figura 50. Impacto del consumo de combustible en la tasa de emisión de material particulado.....	130
Figura 51. Impacto del porcentaje de potencia nominal (part load) de la estufa en la tasa de emisión de material particulado.....	131
Figura 52. Impacto del volumen de la cámara de combustión de la estufa en la tasa de emisión de material particulado.....	131
Figura 53. Impacto del porcentaje de humedad del combustible en la tasa de emisión de material particulado	132
Figura 54. Impacto del consumo de combustible en la tasa media de emisión de material particulado	132
Figura 55. Variación de la eficiencia térmica en función del consumo de combustible... ..	133
Figura 56. Variación de la eficiencia térmica en función de la potencia térmica del calefactor	133
Figura 57. Impacto de la temperatura de gases a la salida de la cámara de combustión y % de CO ₂ sobre la eficiencia térmica.....	134
Figura 58. Principales componentes de un calefactor a leña.....	136
Figura 59. Principales componentes asociados a al proceso de combustión en un calefactor a pellets de madera	137
Figura 60. Solicitud de presupuesto para recambios de calefactores solicitada por MMA, versus presupuestos efectivamente asignados.....	148
Figura 61. Energía consumida en calefacción según tipo de combustible para el escenario de referencia.	156
Figura 62. Energía consumida en calefacción según tipo de combustible para el escenario de carbono neutralidad	156
Figura 63. Consumo energético en Chile, sectores comercial, público y residencial, año 2014 a 2019	158
Figura 64. Evolución del consumo energético en Chile, para los segmentos comercial, público y residencial, periodo 2014-2019	159
Figura 65. Evolución del gasto y consumo energético en el sector residencial, 2014 a 2019	160
Figura 66. Usos de la energía en el segmento residencial, Chile, año 2018.....	161
Figura 67. Consumo de energía a nivel residencial en Chile, 2018	161
Figura 68. Precio de calefactores a leña, según cumplimiento de escenario 1	165

Figura 69. Precios de calefactores a pellets de madera, en función del cumplimiento del estándar, escenario 1	168
Figura 70. Histograma de calefactores a leña según clase de eficiencia	171
Figura 72. Precio de calefactores a leña, según cumplimiento de estándar basado en análisis estadístico	175
Figura 73. Histograma de clases de EE para calefactores a pellets de madera	178
Figura 74. Función de distribución de eficiencia energética para calefactores a pellets de madera, sin <i>outliers</i>	180
Figura 75. MEPS propuesto en base a análisis estadístico de calefactores a pellets de madera	181
Figura 76. Precio de calefactores a leña, según cumplimiento de escenario 2.....	182
Figura 77. Participación de certificaciones para los distintos rangos de tamaño de calefactores a leña.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 78. Participación en certificaciones para los distintos rangos de tamaño de calefactores a pellets	¡Error! Marcador no definido.
Figura 79. Evolución de emisiones de MP2,5 en la Región Metropolitana, toneladas por año	234
Figura 80. Emisión de MP2,5 asociada al uso de leña, según NSE	235
Figura 81. Perfil anual de concentraciones ambientales de MP, Rancagua 2008-2009	236
Figura 82. Meses de uso de calefactores a leña en Talca y Maule, año 2012	237
Figura 83. Uso de calefactores por quintil de ingresos en Talca y Maule, 2012.....	238
Figura 84. Promedios diarios de MP2,5 en Chillán, año 2010	239
Figura 85. Promedio de MP fino y grueso para cada mes del año calendario en el período 2011-2015, Concepción Metropolitano	240
Figura 86. Promedios mensuales de concentración de MP en Temuco y Padre Las Casas, año 2013.....	242
Figura 87. Concentración de MP promedio 24 horas año 2015.....	244
Figura 88. Inventario de emisiones par Valdivia, año 2013	245
Figura 89. Distribución anual de concentración de MP en Osorno, 2009 a 2013.....	246
Figura 90. Emisiones por categoría de fuentes en Osorno, Ton/año	246
Figura 91. Estimación del parque de artefactos que combustionan leña en Osorno, 2013	246
Figura 92. Concentraciones mensuales de MP en Coyhaique, año 2015.....	247
Figura 93. Histograma de emisiones de MP2,5, calefactores a leña	259
Figura 94. Histograma de emisiones de MP2,5, calefactores a pellets de madera	262

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Marcas de calefactores a pellets de madera certificados entre 2017 y 2021	20
Tabla 2. Características de los calefactores a pellets de madera certificadas.....	22
Tabla 3. Marcas de estufas a pellets de madera ofrecidas por distintas cadenas de tiendas (1/2).....	26
Tabla 4. Marcas de estufas a pellets de madera ofrecidas por distintas cadenas de tiendas (2/2).....	28
Tabla 5. Porcentaje de unidades de calefactores a pellets de madera certificadas por año, según clase de EE.....	31
Tabla 6. Coeficiente de correlación entre potencia y eficiencia de calefactores a pellets de madera	32
Tabla 7. Componentes y sus precios, calefactores a pellets de madera	33
Tabla 8. Regresión lineal de eficiencia en función de la potencia (kW), calefactores a pellets de madera	34
Tabla 9. Análisis estadístico de correlación entre eficiencia y potencia de un calefactor a pellets de madera	35
Tabla 10. Análisis estadístico de correlación entre precio y potencia de un calefactor a pellets de madera	35
Tabla 11. Análisis estadístico de correlación entre peso y potencia de un calefactor a pellets de madera	36
Tabla 12. Marcas de calefactores a leña certificados entre 2014 y 2021	38
Tabla 13. Características de calefactores a leña certificados en Chile entre 2014 y 2021 ..	38
Tabla 14. Marcas de estufas a leña ofrecidas por distintas cadenas de tiendas	41
Tabla 15. Porcentaje de unidades de calefactores a leña certificadas por año, según clase de EE	42
Tabla 16. Coeficiente de correlación entre potencia y eficiencia de calefactores a leña	43
Tabla 17. Componentes y sus precios, calefactores a leña	44
Tabla 18. Análisis estadístico de correlación entre eficiencia y potencia de un calefactor a leña	45
Tabla 19. Regresión lineal del costo en función de la potencia (kW), calefactores a leña. ..	46
Tabla 20. Análisis estadístico de correlación entre precio y potencia de un calefactor a leña	46
Tabla 21. Análisis estadístico de correlación entre peso y potencia de un calefactor a leña	47
Tabla 22. Clases de eficiencia energética de artefactos en Chile	50
Tabla 23. Exigencias para emisiones de MP2,5 en Chile	51
Tabla 24. Características de estufas a leña con potencia menor a 8 kW.....	51
Tabla 25. Características de estufas a leña, con potencia mayor o igual a 8 y menor a 10 kW.....	52
Tabla 26. Características de estufas a leña, con potencia mayor o igual a 10 y menor a 12 kW.....	52
Tabla 27. Características de estufas a leña, con potencia mayor o igual a 12 y menor a 14 kW.....	52
Tabla 28. Características de estufas a leña, con potencia mayor o igual a 14 kW	53
Tabla 29. Intervalos de confianza para distintos rangos de potencia en calefactores a leña	53
Tabla 30. Intervalos de confianza para emisiones y eficiencia, calefactores a leña ofrecidos en el mercado nacional	54
Tabla 31. Características de calefactores a pellets de madera, potencia menor a 8 kW ..	58

Tabla 32. Características de calefactores a pellets de madera, potencia mayor o igual a 8 y menor a 10 kW	59
Tabla 33. Características de calefactores a pellets de madera, con potencia mayor o igual a 10 y menor a 12 kW	59
Tabla 34. Características de calefactores a pellets de madera, potencia mayor o igual a 12 y menor a 14 kW	59
Tabla 35. Características de calefactores a pellets de madera, potencia mayor o igual a 14 kW.....	60
Tabla 36. Intervalos de confianza para distintos rangos de potencia en calefactores a pellets de madera	60
Tabla 37. Intervalos de confianza para emisiones y eficiencia, calefactores a pellet ofrecidos en el mercado nacional	61
Tabla 38. Promedio de emisiones de MP2,5 para calefactores a pellet, en función del año y clase de EE.....	65
Tabla 39. Desviación estándar de emisiones de MP2,5 para calefactores a pellet, en función del año y clase de EE.....	65
Tabla 40. Promedio de emisiones de MP2,5 para calefactores a leña, en función del año y clase de EE.....	65
Tabla 41. Desviación estándar de emisiones de MP2,5 para calefactores a leña, en función del año y clase de EE.....	66
Tabla 42. Límites de emisión para nuevas estufas a leña o pellets de madera	72
Tabla 43. Calefactores certificados por la EPA, mejores eficiencias.....	77
Tabla 44. Categorías de tasa de quemado en kg/h	80
Tabla 45. Estándares asociados al ensayo de calefactores de pellets de madera y leña en EE.UU.	82
Tabla 46. Límites de emisiones para calefactores a combustibles sólidos en Canadá	86
Tabla 47. Oferta de calefactores en Canadá	89
Tabla 48. Tasas de combustión observadas en ensayos canadienses	91
Tabla 49. Límites para la eficiencia y las emisiones establecidos para calefactores que combustionan combustibles sólidos en Australia y Nueva Zelanda.....	94
Tabla 50. Caracterización de calefactores comercializados en Nueva Zelanda	95
Tabla 51. Modelos es estufas a leña y pellets de madera más eficientes en Nueva Zelanda	96
Tabla 52. Normas de ensayo para calefactores que combustionan combustibles sólidos en Australia y Nueva Zelanda.....	97
Tabla 53. Límites de emisiones para calefactores que combustionan combustibles sólidos en los países nórdicos	103
Tabla 54. Límites para las emisiones de calefactores, Noruega.....	103
Tabla 55. Exigencias de ecodiseño de la Comunidad Europea, para calefactores a combustibles sólidos.....	104
Tabla 56. Clases de eficiencia energética establecidas en la Comunidad Europea.....	105
Tabla 57. Calefactores a leña más eficientes ofrecidas en el mercado noruego	106
Tabla 58. Calefactores a pellets de madera más eficientes ofrecidas en el mercado noruego	107
Tabla 59. Normas de ensayo para calefactores que combustionan combustibles sólidos en Noruega	108
Tabla 60. Requerimientos de emisiones para instalaciones que utilizan leña o carbón	113
Tabla 61. Calefactores y otros equipos registrados para Suiza	117
Tabla 62. Métodos de ensayo para eficiencia energética y material particulado en los territorios evaluados	121

Tabla 63. Definición de estándares mínimos para eficiencia energética y material particulado en los territorios evaluados.....	122
Tabla 64. Alcance de principales ensayos internacionales	124
Tabla 65. MEPS a nivel internacional	126
Tabla 66. Componentes de estufas a leña y su función.....	135
Tabla 67. Número de calefactores a leña reemplazados por año en el marco de los Planes de Descontaminación Atmosférica y metas propuestas por Región	147
Tabla 68. Participación de la leña y otros energéticos en la matriz	157
Tabla 69. Distribución del consumo de biomasa en los sectores comercial, público y residencial, año 2019	159
Tabla 70. Uso de sistemas de calefacción en Chile, por ZT, año 2018	162
Tabla 71. Uso de sistemas de calefacción en Chile, por NSE, año 2018.....	162
Tabla 72. Uso de sistemas de calefactor individual principal a leña y pellets de madera en Chile, año 2018	162
Tabla 73. Uso de sistemas de calefactor individual secundario a leña y pellets de madera en Chile, año 2018.....	162
Tabla 74. Consumo de energía en kWh en calefactores a leña y pellets de madera en Chile, año 2018.....	163
Tabla 75. Eficiencia energética mínima aceptable basada en intervalos de confianza ..	164
Tabla 76. Cumplimiento del estándar basado en intervalos de confianza, calefactores a leña	164
Tabla 77. Cumplimiento del estándar basado en intervalos de confianza, calefactores a leña, según rango de potencia (1/2)	165
Tabla 78. Cumplimiento del estándar basado en intervalos de confianza, calefactores a leña, según rango de potencia (2/2)	165
Tabla 79. Precios promedio de calefactores a leña, según rango de potencia y cumplimiento de estándar basado en intervalos de confianza.....	166
Tabla 80. Comparación de precios según cumplimiento de estándar, escenario 1	166
Tabla 81. Comparación de precios promedio ponderados para calefactores a leña, escenario 1	167
Tabla 82. Cumplimiento del estándar basado en intervalos de confianza, calefactores a pellets de madera	167
Tabla 83. Cumplimiento del estándar basado en intervalos de confianza, calefactores a pellets de madera, según rango de potencia (1/2)	167
Tabla 84. Cumplimiento del estándar basado en intervalos de confianza, calefactores a pellets de madera, según rango de potencia (2/2)	168
Tabla 85. Precios promedio de calefactores a pellets de madera, según rango de potencia y cumplimiento de estándar basado en intervalos de confianza.....	169
Tabla 86. Diferencias de precios entre calefactores a pellets de madera que cumplen y los que no es estándar basado en intervalos de confianza.....	169
Tabla 87. Comparación de precios promedios ponderados para calefactores a pellets, escenario 1	170
Tabla 88. Frecuencia porcentual por clase de EE, calefactores a leña.....	170
Tabla 89. Estadística descriptiva relativa a eficiencia de calefactores a leña	171
Tabla 90. Estadísticos de eficiencia energética para calefactores a leña. Medidas de tendencia central	172
Tabla 91. Estadísticos de eficiencia energética para calefactores a pellets de madera, medidas de distribución	172
Tabla 92. Estadísticos de eficiencia energética para calefactores a leña, concentración de datos según media y desviación estándar.....	173

Tabla 93. Estadísticos de eficiencia energética para calefactores a leña, concentración de datos según media y desviación estándar, sin <i>outliers</i>	173
Tabla 94. Cantidad de modelos y de equipos que no cumplen con el estándar	174
Tabla 96. Cumplimiento de estándar basado en análisis estadístico de eficiencia, según rango de potencia y año (1/2)	174
Tabla 97. Cumplimiento de estándar basado en análisis estadístico de eficiencia, según rango de potencia y año (2/2)	175
Tabla 98. Precios de calefactores a leña, según cumplimiento de estándar basado en análisis estadístico de eficiencia, según año y rango de potencia	176
Tabla 99. Diferencia de precios de calefactores a leña, según cumplimiento de estándar basado en análisis estadístico de eficiencia, según año y rango de potencia	176
Tabla 100. Comparación de precios promedios ponderados para calefactores a leña, estándar basado en análisis estadístico de eficiencia.....	176
Tabla 101. Frecuencia porcentual por clase de EE, calefactores a pellets de madera.....	177
Tabla 102. Estadística descriptiva relativa a eficiencia de calefactores a pellets de madera	177
Tabla 103. Estadísticos de eficiencia energética para calefactores a pellets de madera. Medidas de tendencia central.....	178
Tabla 104. Estadísticos de EE para calefactores a leña, medidas de distribución.....	179
Tabla 105. Estadísticos de eficiencia energética para calefactores a pellets de madera, concentración de datos según media y desviación estándar.....	179
Tabla 106. Estadísticos de eficiencia energética para calefactores a pellets de madera, concentración de datos según media y desviación estándar, sin <i>outliers</i>	179
Tabla 107. Cumplimiento de estándar basado en análisis estadístico de eficiencia en calefactores a pellets de madera, según año	181
Tabla 108. Cumplimiento de estándar basado en análisis estadístico de eficiencia en calefactores a pellets de madera, según rango de potencia y año (1/2).....	182
Tabla 109. Cumplimiento de estándar basado en análisis estadístico de eficiencia en calefactores a pellets de madera, según rango de potencia y año (2/2).....	182
Tabla 110. Precios de calefactores a pellets de madera, según cumplimiento de estándar basado en análisis estadístico de eficiencia, según año y rango de potencia	183
Tabla 111. Diferencia de precios de calefactores a pellets de madera, según cumplimiento de estándar basado en análisis estadístico de eficiencia, según año y rango de potencia	183
Tabla 112. Comparación de precios promedios ponderados para calefactores a pellets de madera, escenario 3.....	184
Tabla 113. Comparación de cumplimiento de escenarios MEPS	184
Tabla 114. Cantidad de calefactores utilizados en el segmento residencial en Chile	186
Tabla 115. Tasa de crecimiento anual estimada para calefactores, periodo 2010-2018 ..	187
Tabla 116. Participación en certificaciones de calefactores, según combustible	187
Tabla 117. Proyección de la cantidad de calefactores a leña y pellets de madera en Chile, 2018-2032	187
Tabla 118. Eficiencia Energética de los calefactores, según cumplimiento del MEPS.....	188
Tabla 119. Emisiones de los calefactores, en g/h, según cumplimiento del MEPS.....	189
Tabla 120. Demanda y consumos de energía para calefactores a leña en los casos base y MEPS.....	190
Tabla 121. Precio unitario de la energía y parámetros utilizados para su cálculo, calefactores a leña.....	190
Tabla 122. Gastos anuales en energía promedio para calefactores a leña en distintos escenarios considerados.....	190

Tabla 123. Comparación para el consumidor del MEPS respecto al caso base, calefactores a leña.....	191
Tabla 124. Impacto para el consumidor por MEPS, calefactores a leña.....	191
Tabla 125. Demanda y consumos de energía para calefactores a pellets en los casos base y MEPS.....	192
Tabla 126. Precio unitario de la energía y parámetros utilizados para su cálculo, calefactores a pellets.....	192
Tabla 127. Gastos anuales en energía promedio para calefactores a pellets en distintos escenarios considerados.....	192
Tabla 128. Comparación para el consumidor del MEPS respecto al caso base, calefactores a pellets de madera.....	193
Tabla 129. Impacto para el consumidor por MEPS, calefactores a pellets de madera.....	193
Tabla 130. Impacto económico y energético de implementación de MEPS en calefactores a leña.....	194
Tabla 131. Impacto económico y energético de implementación de MEPS en calefactores a pellets de madera.....	196
Tabla 132. Emisiones de MP2,5 evitadas por calefactores a leña a nivel nacional, según año.....	198
Tabla 133 Emisiones de MP2,5 evitadas por calefactores a leña, según año y localidad, en [ton PM2,5/año].....	198
Tabla 134. Emisiones de MP2,5 evitadas por calefactores a pellets de madera a nivel nacional, según año.....	199
Tabla 135. Emisiones de MP2,5 evitadas por calefactores a pellets de madera, según año y localidad, en toneladas.....	199
Tabla 136. Beneficios económicos por reducción en las emisiones de MP2,5.....	199
Tabla 137 Valorización de los impactos ambientales producidos por el cambio en las concentraciones de MP2,5 por la aplicación de MEPS para calefactores a leña, en localidades seleccionadas.....	201
Tabla 138 Valorización de los impactos ambientales producidos por el cambio en las concentraciones de MP2,5 por la aplicación de MEPS para calefactores a pellets de madera, en localidades seleccionadas.....	202
Tabla 139 Beneficios y costos totales, incluyendo aspectos económicos, energéticos y ambientales para la implementación del MEPS en calefactores a leña.....	202
Tabla 140 Beneficios y costos totales, incluyendo aspectos económicos, energéticos y ambientales para la implementación del MEPS en calefactores a leña.....	203
Tabla 141. Sensibilización del crecimiento económico en el impacto del MEPS para calefactores a leña.....	204
Tabla 142. Sensibilización del crecimiento económico en el impacto del MEPS para calefactores a pellets de madera.....	204
Tabla 143 Resultados de la sensibilización sobre las horas de uso consideradas para el uso de calefactores en caso MEPS, toneladas de emisiones de MP2,5 evitadas; Error! Marcador no definido.	
Tabla 144. Impacto en las emisiones por el cambio en las horas de operación, calefactores a pellets de madera, toneladas de emisiones de MP2,5 evitadas; Error! Marcador no definido.	
Tabla 145. Sensibilización de crecimiento del parque de calefactores a.....	205
Tabla 146. Sensibilización de crecimiento del parque de calefactores a pellets de madera.....	206
Tabla 147. Características de los calefactores a combustibles sólidos que se comercializan en Nueva Zelanda.....	217

Tabla 148. Calefactores a combustibles sólidos, utilizados en viviendas de Talca y Maule, 2012.....	236
Tabla 149. Emisiones asociadas a la combustión de leña residencial en Talca y Maule, 2012	237
Tabla 150. Participación por comunas de las emisiones de MP2,5, año 2014.....	238
Tabla 151. Emisiones de contaminantes atmosféricos en Chillán y Chillán viejo, año 2012, toneladas por año.....	239
Tabla 152. Inventario de emisiones al año 2016, Concepción Metropolitano	241
Tabla 153. Promedios mensuales del MP fino y grueso, Es Los Ángeles, 2013	241
Tabla 154. Emisiones por categoría de fuentes en Los Ángeles, Ton/año.....	242
Tabla 155. Inventario de emisiones en Temuco y Padre Las Casas.....	243
Tabla 156. Artefactos a leña en Temuco y Padre Las Casas, año 2010	244
Tabla 157. Tipo de artefactos a biomasa utilizados en Valdivia.....	245
Tabla 158. Inventario de emisiones en Ton/año en Coyhaique, año 2015	247
Tabla 159. Artefactos a leña utilizados en la zona sujeta al Plan de Coyhaique al año 2015	248
Tabla 160. Agentes del mercado consultados	249
Tabla 162. Cambio en emisiones y concentración de MP2,5 por implementación de MEPS en Talca y Maule	253
Tabla 163. Cambio en emisiones y concentración de MP2,5 por implementación de MEPS en Chillán y Chillán Viejo.....	253
Tabla 164. Cambio en emisiones y concentración de MP2,5 por implementación de MEPS en Los Ángeles	254
Tabla 165. Cambio en emisiones y concentración de MP2,5 por implementación de MEPS en Temuco y Padre Las Casas	254
Tabla 166. Cambio en emisiones y concentración de MP2,5 por implementación de MEPS en Osorno	255
Tabla 167. Cambio en emisiones y concentración de MP2,5 por implementación de MEPS en Valdivia.....	256
Tabla 168. Cambio en emisiones y concentración de MP2,5 por implementación de MEPS en Coyhaique	256
Tabla 169. Estadística descriptiva de datos para calefactores a leña, calefactores a leña	258
Tabla 170. Medidas de tendencia central, emisiones de MPO2,5, calefactores a leña	259
Tabla 171. Medidas de distribución, emisiones MP2,5, calefactores a leña	260
Tabla 172. Análisis estadístico de concentración de datos, emisiones MP2,5, calefactores a leña	260
Tabla 173. Costos acumulados de aplicar un MEPS con límite a emisiones de MP2,5, calefactores a leña.....	261
Tabla 174. Emisiones de MP2,5 evitadas por calefactores a leña a nivel nacional, según año	261
Tabla 175. Estadística descriptiva de emisiones de MP2,5, calefactores a pellets de madera	262
Tabla 176. Medidas de tendencia central, emisiones MP2,5, calefactores a pellets de madera	263
Tabla 177. Medidas de distribución, emisiones MP2,5, calefactores a pellets de madera	263
Tabla 178. Análisis estadístico de concentración de datos, emisiones MP2,5, calefactores a pellets de madera	263
Tabla 179. Costos acumulados de aplicar un MEPS con límite a emisiones de MP2,5, calefactores a	264

Tabla 180. Emisiones de MP2,5 evitadas por calefactores a pellets de madera a nivel nacional, según año 264

1. ANTECEDENTES

El consumo de biomasa es muy relevante en Chile, sobre todo si se considera la provisión de las necesidades de calefacción en hogares de la zona sur del país, o bien de hogares de menores recursos en la zona central.

Considerando los efectos ambientales y sobre la salud de la población que el uso de calefactores que combustión biomasa implica, el Estado de Chile ha impulsado diversas medidas que atacan esta problemática desde distintas perspectivas:

- **Entrega de información relevante a la población:** El etiquetado energético de estos artefactos permite realizar decisiones de compra más informadas.
- **Mejoramiento de la envolvente térmica de viviendas:** Orientado a mejorar el confort térmico de los hogares, disminuyendo pérdidas y, por lo tanto, reduciendo la demanda de calefacción.
- **Recambio de calefactores:** Orientado a mejorar la eficiencia del parque de calefactores a biomasa, y consiguientemente, reducir la demanda de combustibles sólidos y las emisiones asociadas a su uso.
- **Otras** en la misma línea.

Complementario a lo anterior, considerando que existe un etiquetado de EE, es necesario analizar la evolución del mercado en respuesta a éste, para dar el paso siguiente, que sería establecer requerimientos de eficiencia mínima para los calefactores que combustión leña o pellets de madera, a través de un Estándar Mínimo de Desempeño Energético (MEPS).

El campo de aplicación para el etiquetado de eficiencia energética, que define el alcance de este proyecto, corresponde a:

- **Calefactores a pellets de madera:** Según la Resolución 20 Exenta, del 9 de noviembre de 2016, del Ministerio de Energía¹, el alcance corresponde a: *“calefactores que utilizan pellets de madera como combustible, con una potencia térmica nominal menor o igual a 25 kW, que pueden ser independientes o insertables, que pueden funcionar con tiro natural o forzado (equipados con un ventilador para la alimentación del aire de combustión) y que funcionan únicamente con las puertas de la cámara de combustión cerradas y se encuentran dentro del alcance y campo de aplicación de la Norma Chilena Oficial NCh 3282.Of2013 “Artefactos de calefacción doméstica que utilizan pellets de madera - Requisitos y métodos de ensayo” y del DS N° 39/2011, del Ministerio del Medio Ambiente”*

¹ Resolución 20 Exenta, del 9 de noviembre de 2016, del Ministerio de Energía, Determina las especificaciones técnicas definitivas de la etiqueta de consumo energético de calefactores a pellets de madera.

- **Calefactores a leña:** Según la Resolución 47 Exenta, del 21 de noviembre de 2014, del Ministerio de Energía², no se indica un alcance particular, sino que se referencia la Resolución 81 Exenta, de 27 de octubre de 2014, de la Subsecretaría de Energía³ y especificaciones técnicas generadas por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC). Esta última institución, a través de la Resolución 1393 Exenta del 13 de agosto de 2012⁴ declara la aprobación de los protocolos para aseguramiento de la eficiencia y la seguridad de los equipos. Las características de los equipos alcanzados se detallan en la página web de la SEC: “*Artefactos metálicos de potencia térmica nominal de hasta 25 kW, constituidos por una cámara de combustión en la que se quema el combustible, también llamada hogar, una puerta con ventana de vidrio templado, puerta que normalmente se encuentra cerrada y reguladores del abastecimiento de aire para la combustión como también de los gases productos de la combustión.*”⁵

Visto lo anterior, para la implementación de un MEPS donde se aseguren resultados positivos y mínimos impactos negativos, es necesario realizar un análisis del mercado actual en Chile, evaluar las implicancias sobre la tecnología de un MEPS, los impactos del mismo, y la gradualidad con que debiese aplicarse. En este sentido, la Subsecretaría de Energía ha adjudicado a ATS Energía el desarrollo del estudio **“Evaluación de medidas de eficiencia energética en calefactores: evaluación de impacto técnico-económico-social de la implementación de estándares mínimos de eficiencia energética en nuevos calefactores que combustionan leña y pellet para uso residencial”**.

1.1. OBJETIVOS

El objetivo general del estudio, y el que dicta los lineamientos de la metodología de trabajo es:

Evaluar técnica, económica y socialmente la implementación de estándar mínimo de desempeño energético para calefactores de uso residencial que combustionan leña y pellet en Chile.

Luego, se considera un único objetivo específico, que complementa al objetivo general:

Cuantificar el potencial de aplicar un MEPS en calefactores de uso residencial que combustionen leña y pellet en Chile, en adelante “los calefactores”⁶, cuantificando los costos e impactos de esta medida y haciendo una recomendación técnica al respecto.

² Resolución 47 Exenta, del 21 de noviembre de 2014, del Ministerio de Energía, Establece etiqueta de consumo energético de calefactores a leña

³ No se encuentra disponible en BCN Ley Chile ni en la web del Ministerio.

⁴ Resolución 1393 Exenta del 13 de agosto de 2012, Aprueba protocolos de análisis y/o ensayos para calefactores de leña.

⁵ <https://wlhttp.sec.cl/PublicacionProductos/publicacion.do> para artefactos a combustibles sólidos

⁶ Se excluyen del alcance de este trabajo las cocinas a leñas.

2. DESCRIPCIÓN DEL MERCADO CHILENO DE CALEFACTORES A LEÑA Y PELLETS DE MADERA

En el Decreto Supremo N°39 de 2011⁷, revisado por el Decreto Supremo N°46 de 2013⁸, ambos del Ministerio del Medio Ambiente, y las Resoluciones Exentas N°47, del 21 de noviembre de 2014⁹ y N°21, del 18 de noviembre de 2016¹⁰, ambas del Ministerio de Energía establecen la normativa que regula las emisiones y el etiquetado de eficiencia energética de los calefactores que combustionan leña, y pellets de madera.

A continuación, se presenta la caracterización del mercado, distinguiendo calefactores a leña y calefactores a pellets de madera.

2.1. CALEFACTORES A PELLETS DE MADERA

A continuación, se presenta la caracterización del mercado de calefactores a pellets de madera. Es importante mencionar que están sujetos a certificación los calefactores que combustionan leña u otros productos dendroenergéticos, cuya potencia térmica nominal sea menor o igual a 25 kW, como da cuenta la Resolución Exenta N°62 de 2012, del Ministerio de Energía.¹¹

2.1.1. CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE DISTRIBUCIÓN

La SEC mantiene bases de datos actualizadas respecto de la certificación de calefactores a pellets de madera. En ella se encuentran datos de equipos comercializados en el país, ya sean fabricados en Chile, o bien importados. En la figura siguiente se muestra la cantidad de artefactos certificados entre 2017 y 2021, donde cada color representa una marca presente en el mercado, cuyos nombres se ocultan dado que corresponde a información sensible.

⁷ Decreto 39 de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente, Establece norma de emisión de material particulado, para los artefactos que combustionen o puedan combustionar leña y pellet de madera.

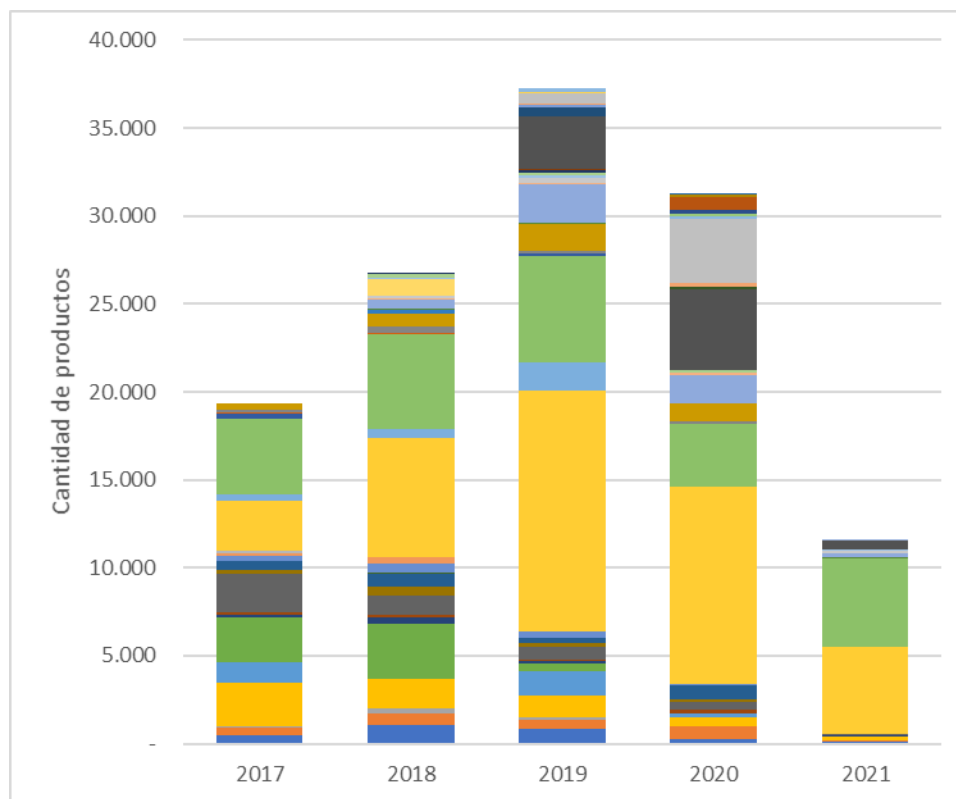
⁸ Decreto 46 de 2013, del Ministerio del Medio Ambiente, Revisa norma de emisión de material particulado, para los artefactos que combustionen o puedan combustionar leña y derivados de la madera, contenida en el Decreto N°39, de 2011.

⁹ Resolución 47 Exenta, del 21 de noviembre de 2014, Ministerio de Energía, Establece etiqueta de consumo energético de calefactores a leña.

¹⁰ Resolución 21 Exenta, del 18 de noviembre de 2016, Ministerio de Energía, Establece etiqueta de consumo energético de calefactores a pellets de madera.

¹¹ Resolución 62 exenta, de 2012, del Ministerio de Energía. Establece que calefactores que combustionan leña u otros productos dendroenergéticos, cuya potencia térmica nominal sea menor o igual a 25 kW, deben contar con un certificado de aprobación para su comercialización en el país

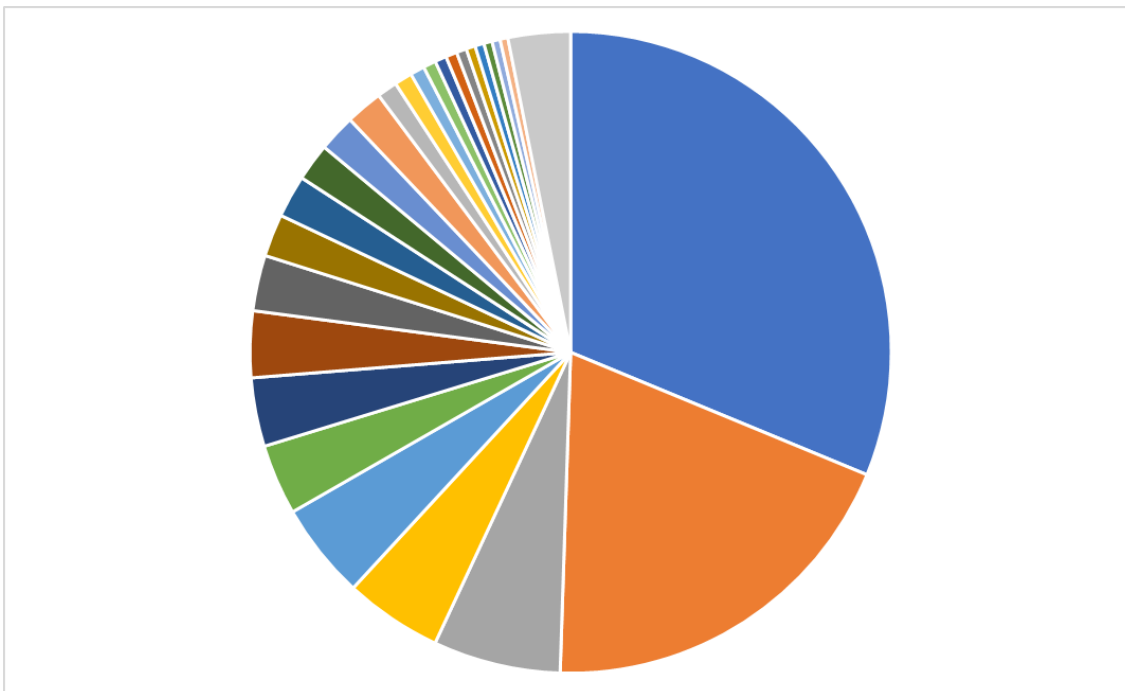
Figura 1. Cantidad de calefactores a pellets de madera certificados, por año



Fuente: Elaborado en base a datos de la SEC

Es importante mencionar que, según la Resolución Exenta 47 de 2014, del Ministerio de Energía, los artefactos que son comercializados en Chile deben contar con una etiqueta de eficiencia energética, por lo que resulta razonable establecer una relación entre las certificaciones realizadas, y los productos comercializados en el mercado nacional. Si bien puede darse que las unidades certificadas en un determinado año no sean comercializadas ese mismo año, sí puede concluirse, con estos datos, respecto de la participación de las marcas en el mercado. Así, si se considera el periodo completo, dos fabricantes que dominan el mercado, como se muestra en la Figura 2. Es importante mencionar que la información presentada en la figura corresponde a una aproximación a la participación del mercado obtenida a partir del número de certificaciones que otorga la SEC, lo que no corresponde a la participación de mercado real, ya que, para determinar dicho valor, es necesaria la realización de un estudio de mercado.

Figura 2. Participación en el mercado de calefactores a pellets de madera, periodo 2017-2021



Fuente: Elaborado en base a datos de la SEC

A continuación, se presenta información de las marcas de calefactores certificados:

Tabla 1. Marcas de calefactores a pellets de madera certificados entre 2017 y 2021

Marca	Página web	Ubicación casa matriz
Albin trotter	https://www.albintrotter.com	Santiago, Chile
Alcazar	https://www.alcazar.cl	Temuco, Chile
Artel	www.artelgroup.com	Italia
Belleti	https://belletti.cl/	Los Ángeles, Chile
Ingeniería de combustión Bosca Chile S.A.	https://www.bosca.cl/	Santiago, Chile
Calma	www.calma.cl	
Ecoforest	www.ecoforest.com	
Edilkamin	www.edilkamin.com	Italia
Eva calor	www.evacalor.com	Italia
Fair	www.fair-europe.com	Italia
Ferlux	www.ferlux.es	España
Freepoint	www.palazzetti.cl	Santiago, Chile
Khone-amg		Italia
Lasian	www.lasian.es	España
Punto fuocco	puntofuoco.net	Italia
Ravelli	https://esp.ravelligroup.it/	Italia
Thermorossi	https://www.thermorossi.com/es/	Italia
Toyotomi (Comercial e importadora BBR S.A.)	www.toyotomi.cl	Santiago, Chile

Marca	Página web	Ubicación casa matriz
Winteröfen	https://www.winterofen.com/en/	Italia
Elledi	http://www.elledistufe.it/	Italia
Flaama (flaama chile spa)	http://www.flaama.cl/	Los Ángeles, Chile
Kaltemp (Boetsch tecnologías Ltda.)	https://www.kaltemp.cl/	Santiago, Chile
Palazzetti	www.palazzetti.cl	Santiago, Chile
Tepor	https://www.teporstufe.com/	Italia
Yunque (Fábrica de Cocinas Yunque Ltda.)	http://somos.yunque.cl/	Temuco, Chile
Altacasa	https://www.facebook.com/altacasaPellet/	
Alvasur (Fábrica y Comercializadora de Productos Metálicos Alvasur Ltda.)	https://www.alvasur.cl/	Temuco, Chile
Andes Energy Solutions	https://www.andesenergys.com/	Santiago, Chile
Betterlife (Jara Méndez Ltda.)	https://www.betterlife.cl	Santiago, Chile
Cadel	www.palazzetti.cl	Santiago, Chile
Piazzetta	https://www.piazzetta.com/es/	Italia
Biopatagonia	https://www.biopatagonia.cl/	Valdivia, Chile
Natural fire	www.naturalfire.es	España
Amesti	www.amesti.cl	Santiago, Chile
Delka	S.I.	
Ecoheat	S.I.	
Northterm y norwood	S.I.	
Norwood	S.I.	
Recco	S.I.	
Ungaro	S.I.	
Uniclíma	S.I.	
Dafne	S.I.	
Ecofaber	S.I.	
Thermasis	S.I.	
Italfuoco	S.I.	
Paterno	S.I.	

Fuente: Elaboración propia

Respecto de los modelos y características técnicas de los mismos, se encuentra información de las mismas bases de datos de la SEC, lo que se complementa, para el precio y rango de calefacción en la Tabla 2. Es importante mencionar que la información de potencia, eficiencia y emisiones fueron entregados por la SEC, mientras que el rango de calefacción precios de unidades sin instalar se obtuvieron de páginas web de fabricantes y distribuidores. Respecto de los precios, se buscó obtener el de una gran tienda, de un distribuidor local y del fabricante, aunque no fue posible para todos los modelos, los 3 son mostrados en la tabla siguiente, cuando fue posible obtenerlos:

Tabla 2. Características de los calefactores a pellets de madera certificadas

Marca	Modelo	Potencia Térmica Nominal (kW)	EE (%)	Emisiones de MP (g/h)	Rango calefacción (m ²)*	Precio (clp)		
Albin Trotter	AT-ZL PM08	8,4	81	1,9	80 a 140	799.990	619.990	799.990
Albin Trotter	AT-ZL PM6	7,4	79	1,1	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
Alcazar	P1500-1	4,3	86	1,4	30 a 60	860.900	723.900	981.900
Alcazar	P1800	7,1	81	1,5	40 a 80	1.050.000	849.990	1.118.990
Alcazar	P-2000	8,9	82	1,4	90 a 120	1.130.900	1.229.990	1.246.900
Alcazar	P-3000	12	84	1,2	100 a 140	1.699.990	999.990	1.388.900
Altacasa	MÓDENA	6,8	89	2,3	70 a 110	S.I.	S.I.	790.000
Alvasur	LLAIMA	6,9	88	1,8	50 a 80	749.000	661.500	S.I.
Amesti	INSERTO 700 CRYSTAL	7,6	89	1,6	68 a 135	1.949.903	2.199.900	S.I.
Amesti	ITALLY 6100-1	6,7	84	2	70 a 118	636.273	699.900	699.990
Amesti	ITALY 7000	7,3	86	2,4	70 a 130	734.025	749.990	799.900
Amesti	ITALY 8000	6,8	80	1,44	60 a 120	729.990	675.990	629.900
Amesti	ITALY 8100	8,55	86	2,36	70 a 168	819.990	959.990	899.900
Amesti	ITALY 8100 plus	9,3	87	1,9	70 a 168	899.990	874.900	899.900
Amesti	MILANO	7,3	80	1,8	53 a 130	849.900	899.998	999.900
Andes Energy Solutions	ECOANDES	9,4	80	2,9	Hasta 140	870.000	S.I.	S.I.
Artel	CLASSIC CANALIZABLE	10,2	87	1,9	Hasta 160	2.010.000	1.950.000	2.596.000
Artel	CLASSIC M	7,2	85	1,4	Hasta 140	1.490.000	1.390.000	1.633.375
Artel	EASY POWER	8,2	86	1,7	Hasta 60	1.140.000	1.200.000	1.200.000
Artel	MOD. 10 – ALASKA	8	90	2,3	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
Artel	NEW IDRO 17	16,1	94	1,7	Hasta 270	3.750.000	4.170.000	3.690.000
Artel	PASILLO POWER	5	88	1,9	S.I.	898.000	980.000	599.990
Artel	PICCOLA	5	80	1,6	50 a 100	1.040.000	1.050.000	1.050.000
Artel	ROMA	6,6	86	2,1	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
Belletti	MIDI	7,7	82	1,6	90 a 100	859.000	S.I.	S.I.
Belletti	CR-10-2 MILANO	5,3	76	2,5	50 a 95	589.000	755.900	S.I.
Belletti	MINI	5,8	82	2,1	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
Belletti	VERONA	8,1	89	2,5	80 a 130	S.I.	S.I.	S.I.
Betterlife	NB-PSC	6,2	86	1,6	100	869.900	869.990	1.468.990
Betterlife	NB-PSC9	9,5	86	1,5	160	979.990	899.990	999.990
Biopatagonia	ZLK10	9,4	83	2,6	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
Bosca	ECO SMART 9	10,4	87	1,4	145	919.989		949.990
Bosca	HERA	6	92	1,89	60 a 140	S.I.	799.990	849.990
Bosca	HERA +	9	88	1,85	90	819.990	799.990	849.990
Bosca	Mila 6	6	89	1,9	100	709.990	699.990	749.990

Marca	Modelo	Potencia Térmica Nominal (kW)	EE (%)	Emisiones de MP (g/h)	Rango calefacción (m²)*	Precio (clp)		
Cadel	KIARA	7	86	1,3	Hasta 100	1.299.990	1.342.800	S.I.
Cadel	LAURA	8,6	86	1,9	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
Cadel	VERA 7	7,2	90	1,1	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
Cadel	VERA 7 UP	7,2	90	1,1	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
Calma	PORTOFINO 7000	7,5	89	1,2	S.I.	949.900	1.428.000	1.449.990
Calma	PORTOFINO 7000 B	7,5	89	1,2	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
Delka	KIARA	7	86	1,3	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
Ecofaber	DAFNE	9	90	1,8	80 a 120	1.190.000	1.090.000	S.I.
Ecofaber	ECHOS	5	87	1,6	70 a 75	769.000	684.450	599.900
Ecofaber	THEMA	7,2	90	1,9	100 a 110	949.000	S.I.	S.I.
Ecoforest	MOON	7,7	86	1,3	Hasta 120	S.I.	S.I.	S.I.
Ecoforest	VIGO II	9,6	86	2,5	Hasta 100	S.I.	S.I.	S.I.
Ecoheat	MIGNON	5,8	84	1,6	55 a 70	890.000	790.000	790.000
Edilkamin	POINT	6,4	70	2,5	Hasta 210 m³	1.690.000	1.329.825	S.I.
Elledi	FUSION 8.2	8,4	88	1,7	Hasta 195 m³	1.310.990	S.I.	S.I.
Eva Calor	RITA	7,5	80	1,9	Hasta 120	1.250.000	980.000	1.141.990
Fair	BIO 80	7,3	79	1,6	220	1.199.900	1.290.000	S.I.
Ferlux	FLORA 7	8,4	82	2,4	130	S.I.	879.900	S.I.
Flaama	ECO HEAT	9,3	86	2,3	188	999.000	S.I.	S.I.
Flaama	ECO HEAT SMART	10,2	86	2,2	188	1.099.000	S.I.	S.I.
Flaama	ECO POWER	11,7	86	2	50 a 230	1.299.000	S.I.	S.I.
Freepoint	MARY	8,1	86	1,6	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
Freepoint	PRETTY	8,6	86	1,6	Hasta 85	S.I.	S.I.	S.I.
Freepoint	PRETTY ULTRA	9,1	88	1,6	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
Italfuoco	BELLA	5	88	1,9	Hasta 80	889.000	S.I.	S.I.
Kaltemp	WOODY 5	4	76	1,9	Hasta 60	S.I.	S.I.	S.I.
Khone-Amg	PETIT 6	5,4	86	1,4	70 a 160	789.000	859.990	950.000
Lasian	AUDAX 10	10,3	86	1,7	60 a 160	1.199.000	S.I.	S.I.
Lasian	AUDAX 5 KW	5,1	79	2	Hasta 60	890.000	855.998	S.I.
Lasian	AUDAX 7 KW	7,1	80	1,3	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
Lasian	AUDAX 8	10,3	86	1,7	70 a 100	990.000	1.249.000	1.250.000
Natural Fire	ATALAYAS	9,9	77	2,7	70 a 90	S.I.	S.I.	S.I.
Northterm Y Norwood	KIARA	7	86	1,3	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
Norwood	CAMILA	4,8	88	1,6	Hasta 80	S.I.	849.990	S.I.
Norwood	PRETTY	8,6	86	1,6	Hasta 140	S.I.	S.I.	S.I.
Norwood	PRETTY 6	6,5	86	2	Hasta 80	1.050.000	S.I.	S.I.
Palazzetti	ECOFIRE ALLEGRO	12,7	86	1,4	Hasta 180 m³	S.I.	S.I.	S.I.
Palazzetti	ECOFIRE LIA	8,2	86	1,4	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.

Marca	Modelo	Potencia Térmica Nominal (kW)	EE (%)	Emisiones de MP (g/h)	Rango calefacción (m²)*	Precio (clp)		
Palazzetti	GIGLIOLA	8,6	86	2,2	Hasta 140	S.l.	S.l.	S.l.
Palazzetti	GIGLIOLA AIR 80	8,6	86	2,2	S.l.	S.l.	S.l.	S.l.
Paterno	ALICE	9	86	2,2	100 a 120	1.560.000	1.590.000	S.l.
Piazzetta	P163	12,1	87	1,6	Hasta 219	3.990.000	4.140.000	3.980.000
Piazzetta	P163T	12,1	87	1,6	Hasta 220	4.140.000	2.803.300	4.160.000
Punto Fuocco	LORY	7,8	80	1,1	Hasta 200 m³	S.l.	S.l.	S.l.
Ravelli	ATENA V	13	87	1,5	Hasta 130	1.840.038	3.179.990	S.l.
Ravelli	HRV 100 TOUCH	15,7	92	1,4	S.l.	2.761.690	S.l.	S.l.
Ravelli	HRV 160 TOUCH	24	92	1,9	465 m3	3.685.905	S.l.	S.l.
Ravelli	R70	7,9	86	1,7	Hasta 150 m3	960.000	1.648.990	S.l.
Recco	NB-PI	7,6	81	2,2	51 a 100	599.990	S.l.	S.l.
Superior Piazzetta	CLEO	6,1	82	1,9	Hasta 100	1.690.000	1.690.000	1.850.000
Tepor	PETITE	5,3	81	1,4	Hasta 60	799.900	798.000	S.l.
Thermasis	ASTRA 8	8,3	86	1,9	S.l.	830.307	S.l.	S.l.
Thermorossi	1000 EASY	5,8	78	1,7	60 a 80	960.000	S.l.	S.l.
Thermorossi	MON AMOUR	6,8	86	1,6	Hasta 95	1.390.000	1.190.000	1.341.600
Thermorossi	MOOD	9,6	88	1,7	Hasta 120	1.690.000	1.890.000	1.790.000
Thermorossi	URBAN	7,1	87	2,1	70 a 90	1.390.000	S.l.	S.l.
Toyotomi	PS 6000	6	86	1,4	Hasta 105	899.990	S.l.	S.l.
Toyotomi	PS 9800	8,6	86	1,2	Hasta 150	1.099.990	S.l.	S.l.
Toyotomi	PS7500	6,9	86	1,5	101 a 150	1.199.990	999.990	1.199.990
Ungaro	FOGLIA	6,5	86	2,5	60 a 120	2.182.990	2.549.990	2.549.990
Ungaro	LIBY	6,5	86	2,5	60 a 120	2.399.990	2.699.990	2.395.000
Ungaro	SOLE	6,5	86	2,5	40 a 120	2.483.990	2.559.990	2.859.990
Uniclíma	CARLA AIR	10,5	86	1,8	70 a 160	990.000	1.460.000	S.l.
Uniclíma	KARINA	5,9	86	2,1	50 a 100	889.900	990.000	S.l.
Uniclíma	NICOLETA	5,2	89	2,4	40 a 60	950.000	1.008.733	S.l.
Winteröfen	BABY 5	5,3	88	1,7	Hasta 70	990.000	S.l.	S.l.
Winteröfen	WO 135	9,7	88	1,6	Hasta 110	1.390.000	1.800.000	1.490.000
Winteröfen	WO 85	7,5	89	1,6	Hasta 110	1.190.000	1.400.000	1.190.000
Yunque	ALASKA	8	90	2,3	51 a 100	S.l.	S.l.	S.l.
Yunque	ALASKA 850	8,7	86	1,7	60 a 90	1.139.900	1.059.990	999.990
Yunque	ROMA	6,6	86	2,1	S.l.	S.l.	S.l.	S.l.

Fuente: Elaboración propia utilizando datos de la SEC

* La unidad de medida corresponde a m², a menos que se especifique lo contrario.

Acercas de los canales de distribución de los fabricantes, existen 4 maneras de llegar a los clientes, a través de:

- Tiendas propias (aplica a las grandes empresas fabricantes).
- Grandes cadenas de presencia nacional como Easy o Sodimac.
- Cadenas de ferretería como MTS o Chilemat.
- Distribuidores locales, como Biomass o Puro Pellet, entre otros.

En la tabla siguiente se muestran las marcas que ofrecen las distintas tiendas consultadas.

Tabla 3. Marcas de estufas a pellets de madera ofrecidas por distintas cadenas de tiendas (1/2)

Marca de calefactor	Albin Trotter	Alcazar	Artel	Bellefi	Bosca	Calma	Ecoforest	Edilkamin	Eva Calor	Fair	Ferlux	Freepoint	Khone-Amg	Lasian	Northerm Y Norwood	Punto Fuocco	Ravelli	Superior Piazzetta	Thermorossi	Toyotomi	Winteröfen	Delka	Ecoheat	Elledi	Flaama	Kaltemp	Palazzetti	Tepor	Yunque	Altacasa	Alvasur	Andes Energy Solutions		
Electroenergías													v																					
Cosmoplas													v																					
Biohualles			v						v				v											v										
Cosmoclima													v			v													v					
Riego bueno									v				v																					
Transticket													v																					
FYStermica													v																					
Kunde													v																					
Anwo																	v																	
Climaseguro					v													v																
Ecoclick			v											v				v	v		v													
Biomass			v															v																
Pellet Energy			v								v							v																
Alma Estufas																		v																
Aproenergi			v															v																
Air Clean SpA			v																															
Ecomas																			v		v		v											
Full Pellet																			v		v		v											
Calfri																			v		v		v											
Lagos Climatización																			v		v		v											
Kalor								v						v					v															
Ecofuego														v					v			v												
TYM Energy																			v															
Sodimac	v				v														v	v											v			
Silma Ingeniería																			v															
FríoTérmica			v																v			v								v				
Falabella	v	v																				v									v			

Tienda de distribución de calefactores	Marca de calefactor																																				
	Albin Trotter	Alcazar	Artel	Bellefi	Bosca	Calma	Ecoforest	Edilkamin	Eva Calor	Fair	Ferlux	Freepoint	Khone-Amg	Lasian	Northern Y Norwood	Punto Fuocco	Ravelli	Superior Piazzetta	Thermorossi	Toyotomi	Winteröfen	Delka	Ecoheat	Elledi	Flaama	Kaltemp	Palazzetti	Tepor	Yunque	Altacasa	Alvasur	Andes Energy Solutions					
Recal																					✓																
Fraga y Cía																					✓																
TecnoBiomass																			✓		✓		✓														
Flamma																							✓			✓											
ERREVE			✓					✓				✓											✓														
Manargus																	✓							✓													
Cosmoclima												✓					✓													✓							
Novaclima																													✓								
Buena Caldera																	✓												✓								
Alvasur			✓								✓		✓																	✓		✓					
BioPatagonia			✓						✓																					✓							
Dimarsa					✓																									✓							
InforSecurity Pellets de madera														✓																				✓			
París																																					
Palazzetti																													✓								
Vemaac																													✓								
Ecotekno			✓																																		
Clima RHF							✓																														
EcoClima													✓	✓																							
Canelo Climatización														✓																					✓		
Compra Pellets de madera																																			✓		
Bosca					✓																																
ITC Italia																																					
Puro Pellet																																					
Isaflor		✓																																			
Innapel																																					
Pel-lets			✓																											✓							

Tienda de distribución de calefactores	Marca de calefactor															
	Betterlife	Cadel	Norwood	Piazzetta	Recco	Ungaro	Uniclíma	Biomasa De Patagonia Spa	Biopatagonia	Dafne	Ecofaber	Natural Fire	Thermasis	Amesit	Italfuoco	Paterno
Anwo																
Climaseguro				v										v		
Ecoclick																
Biomass				v											v	
Pellet Energy				v												
Alma Estufas																
Aproenergi				v												
Air Clean SpA				v												
Ecomas																
Full Pellet																v
Calfri																
Lagos Climatización																
Kalor																
Ecofuego																
TYM Energy																
Sodimac	v				v											
Silma Ingeniería																
FríoTérmica				v												
Falabella	v		v		v											
Recal								v								
Fraga y Cía																
TecnoBiomass											v					
Flamma																
ERREVE								v						v		
Manargus																
Cosmoclima																
Novaclima																
Buena Caldera				v				v						v		v
Alvasur				v	v						v					
BioPatagonia								v						v		
Dimarsa														v		
InforSecurity Pellets														v		

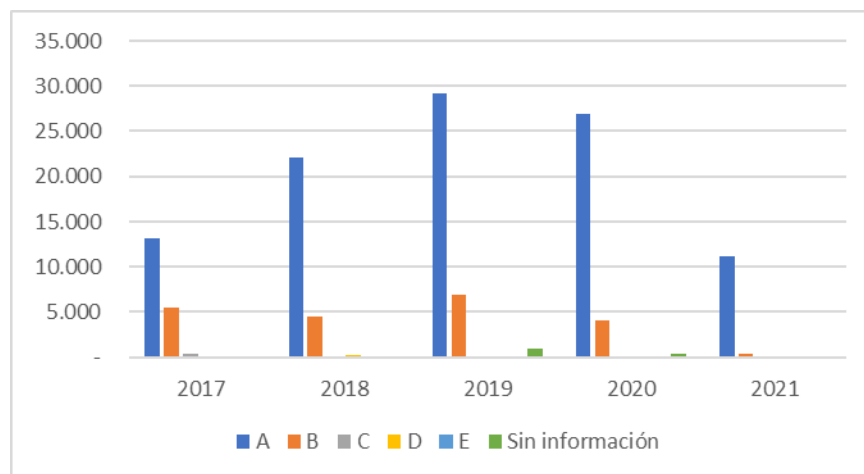
Tienda de distribución de calefactores	Marca de calefactor															
	Betterlife	Cadel	Norwood	Piazzetta	Recco	Ungaro	Uniclíma	Biomasa De Patagonia Spa	Biopatagonia	Dafne	Ecofaber	Natural Fire	Thermasis	Amesfi	Italfuoco	Paterno
París	v		v											v		
Palazzetti		v	v													
Vemaac		v	v													
Ecotekno				v											v	
Clima RHF				v												
EcoClima						v										
Canelo Climatización									v							
Compra Pellets										v						
Bosca																
ITC Italia											v					
Puro Pellet														v		
Isaflor														v		
Innapel														v		
Pel-lets				v												
Agea Wind						v										
Kalsur			v													
Ferretería Madrid							v							v		

Fuente: Elaboración propia

2.1.2. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL MERCADO

Según información entregada por la SEC, respecto de la cantidad de artefactos certificados y sus características técnicas principales, como potencia, eficiencia y emisiones, como se muestra en la figura siguiente, se observa que los artefactos presentes en el mercado son, preponderantemente, para el caso de pellets de madera, de clases de EE superior (A y B):

Figura 3. Número de calefactores a pellet certificados en Chile, según año y categoría de eficiencia energética



Fuente: Elaborado en base a datos de la SEC

En la tabla siguiente se muestra el porcentaje de calefactores a pellets de madera certificados según la clase de eficiencia energética (EE).

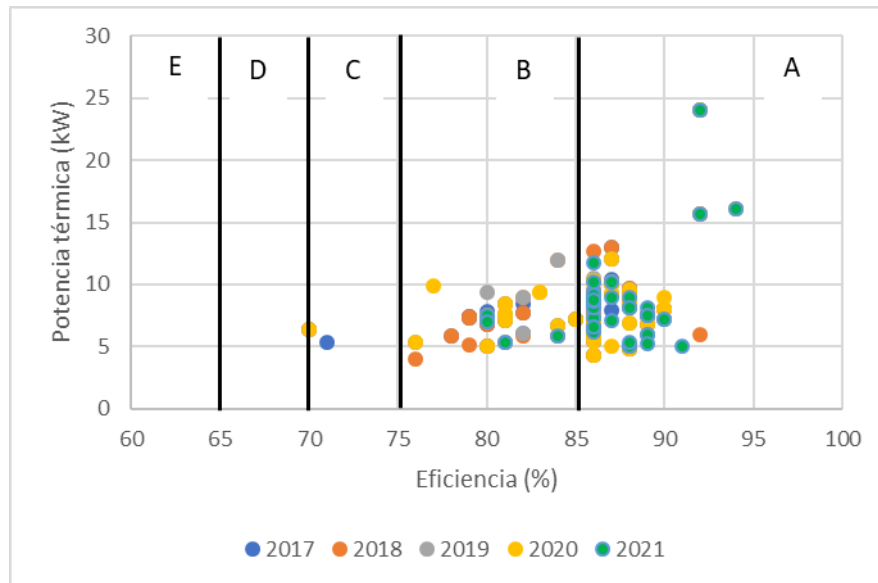
Tabla 5. Porcentaje de unidades de calefactores a pellets de madera certificadas por año, según clase de EE

	A	B	C	D	E	Sin información disponible
2017	68,2%	28,4%	2,3%	0,6%	0,0%	0,5%
2018	82,5%	16,8%	0,0%	0,7%	0,0%	0,0%
2019	78,4%	18,7%	0,0%	0,3%	0,0%	2,7%
2020	85,5%	12,9%	0,0%	0,5%	0,0%	1,1%
2021	96,3%	3,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Fuente: Elaborado en base a datos de la SEC

Si se considera la potencia térmica de los artefactos, se aprecia que no hay una relación clara entre ésta y la EE, como se puede apreciar en la Figura 4 y de los coeficientes de correlación mostrados en la Tabla 6 que dan cuenta de una correlación positiva pero no fuerte. En la misma resulta evidente la concentración de equipos en un rango de eficiencia superior.

Figura 4. Eficiencia versus potencia térmica de calefactores a pellets de madera, por año



Fuente: Elaborado en base a datos de la SEC

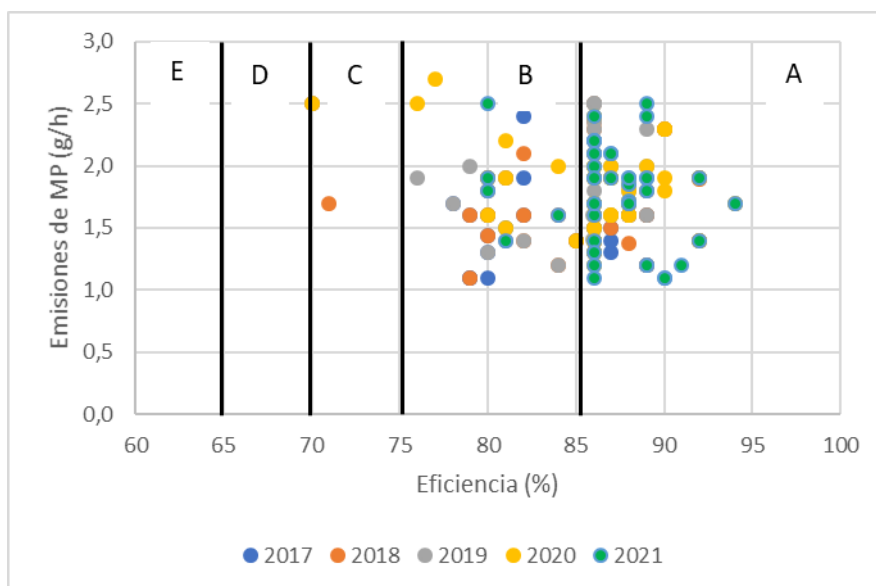
Tabla 6. Coeficiente de correlación entre potencia y eficiencia de calefactores a pellets de madera

	Coeficiente de correlación
2017	0,43
2018	0,49
2019	0,47
2020	0,42
2021	0,40
Total muestra	0,43

Fuente: Elaborado en base a datos de la SEC

Respecto de las emisiones de material particulado (MP) de los mismos calefactores, la figura siguiente muestra que no existe una relación con la eficiencia.

Figura 5. Eficiencia versus emisiones de MP de calefactores a pellets de madera, por año



Fuente: Elaborado en base a datos de la SEC

Como conclusión general, se puede mencionar que no se aprecia un mejoramiento evidente en lo que respecta a reducción de emisiones con el correr de los años, mientras que en lo que se refiere a eficiencia energética, se aprecia que tanto en 2020, como en 2021, ésta se sitúa en los rangos superiores, lo que es consistente con lo mostrado en la Tabla 5.

2.1.3. CORRELACIÓN DE COSTOS DE CALEFACTORES A PELLETS DE MADERA EN FUNCIÓN DE LA EFICIENCIA, PESO Y PRECIO

Para las estufas a pellets, básicamente, la estructura de costos queda definida por los materiales, obra de mano y los márgenes de venta de los respectivos modelos.

A manera referencial, en el mercado se observa que los costos de los diferentes componentes en caso de reemplazo son los siguientes (costos extraídos de páginas de fabricantes y proveedores además de páginas de importación de componentes):

Tabla 7. Componentes y sus precios, calefactores a pellets de madera

Componentes	Valores referenciales
Estructura de acero estufa que incluye tolva de almacenamiento de pellets Chapa de acero 5 mm aproximadamente (59% de costo total – Ref: Fabricante nacional considerando media de \$ 1.313.186)	\$ 774.780
Tornillo sinfín para transporte de combustible	\$ 42.000
Motoreductor	\$ 50.000
Presostato de aire	\$ 36.990
Ventilador de impulsión de aire	\$ 20.000

Componentes	Valores referenciales
Sensor de flujo de aire	\$ 20.000
Resistencia de encendido	\$ 50.000
Cenicero	\$ 30.000
Quemador de combustión	\$ 113.000
Termostato de seguridad	\$ 34.700
Cristal Cerámico u otro	\$ 45.000
Ladrillos refractarios	\$ 100.000
Tarjeta electrónica	\$ 120.000

Fuente: Precios entregados por fabricantes, como repuestos, en sus páginas web

No obstante, para verificar la relación costos y eficiencia energética, a partir de la base de datos oficial de la SEC, se hacen las siguientes estimaciones para verificar alguna correlación existente en el mercado:

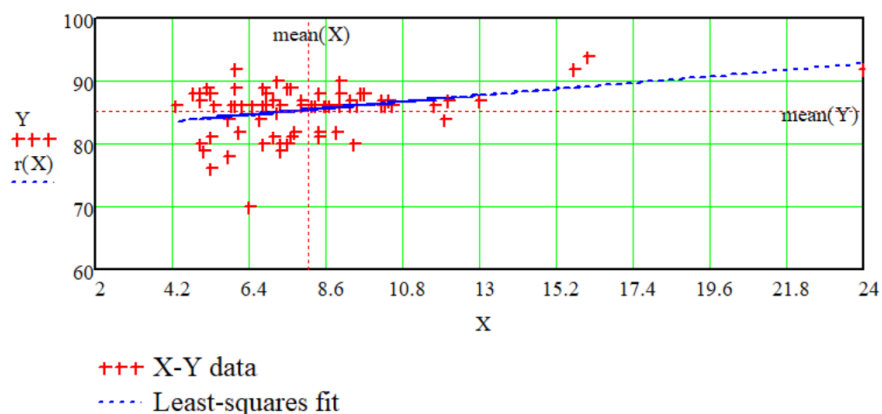
- Relación Eficiencia en Función de la Potencia
- Relación Costos en Función de la Potencia
- Relación Peso de Calefactor en Función de la Potencia

Para cada caso se establecen regresiones lineales con sus respectivas variables estadísticas.

Caso 1: Relación eficiencia en función de la potencia

En la siguiente figura se establece la tendencia de la correlación y en la tabla adjunta los respectivos parámetros estadísticos:

Tabla 8. Regresión lineal de eficiencia en función de la potencia (kW), calefactores a pellets de madera



Fuente: Elaboración propia

Estadísticamente la correlación entre eficiencia y potencia para estufas a pellets:

Tabla 9. Análisis estadístico de correlación entre eficiencia y potencia de un calefactor a pellets de madera

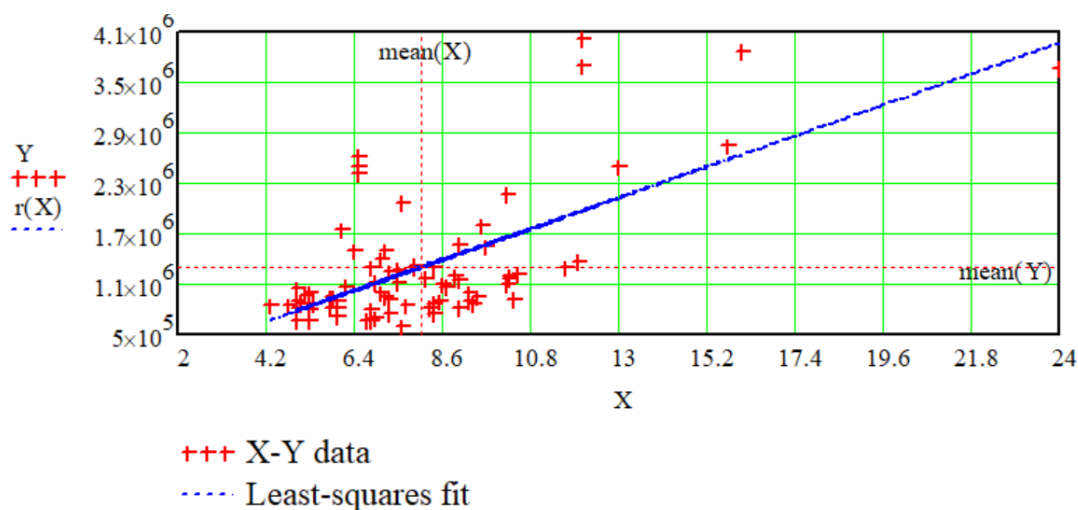
Parámetro	X- Potencia (kW)	Y – Eficiencia η (%)
Media	8,13	85,5
Mediana	7,5	86
Desviación Estándar	3	3,9
Varianza	8,95	15,2
Coefficiente de Correlación	0,36	
R ²	0,129	
Covarianza	4,1	
Error Estándar	3,7	
Regresión Lineal	$\eta(\text{Potencia})=81,65+0,468*\text{Potencia}$	

Fuente: Elaboración propia

Como se observa de los valores anteriores a pesar que existe un grado de correlación, esta es baja entre la eficiencia y la potencia de las estufas a pellets comercializadas en el mercado nacional.

Caso 2: Relación costo en función de la potencia

Figura 6. Regresión lineal del precio en función de la potencia (kW), calefactores a pellets de madera



Fuente: Elaboración propia

Estadísticamente la correlación entre costos y potencia es:

Tabla 10. Análisis estadístico de correlación entre precio y potencia de un calefactor a pellets de madera

Parámetro	X- Potencia (kW)	Y – Precios \$ (CLP)
Media	8,13	1.313.186
Mediana	7,5	1.066.626,7
Desviación Estándar	3	762.474

Parámetro	X- Potencia (kW)	Y – Precios \$ (CLP)
Varianza	8,95	581.366.958.993,4
Coefficiente de Correlación	0,66	
R ²	0,432	
Covarianza	1.479.972,95	
Error Estándar	578.303,83	
Regresión Lineal	Costos(Pot)=-49.189,091+167.616,6*(Potencia)	

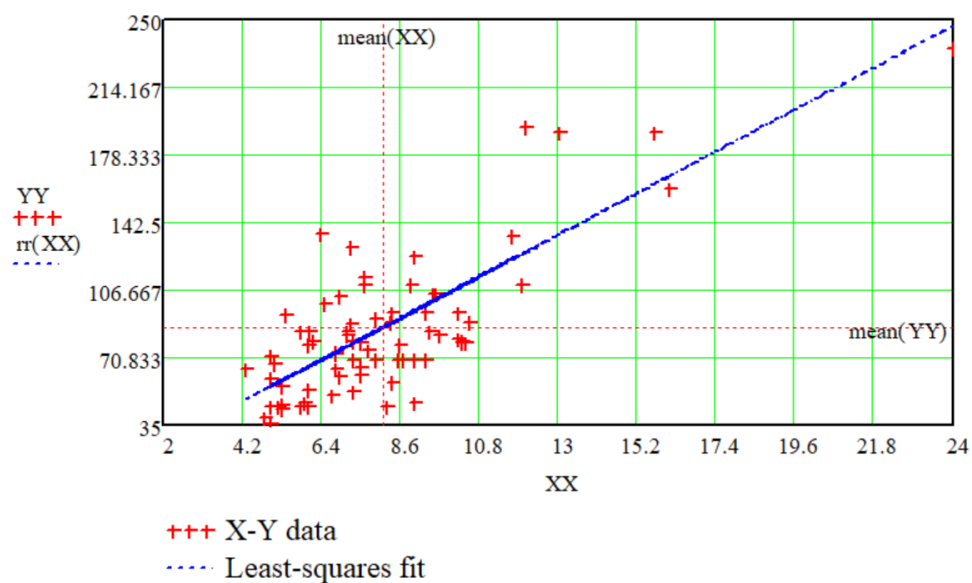
Fuente: Elaboración propia

El coeficiente de correlación y/o R² muestra que existe una correlación moderada entre los costos de la estufa a pellet y su potencia.

Caso 3: Relación peso de estufa en función de la potencia

Considerando, que, en un proceso de fabricación por lotes, normalmente, el peso asociado a sus componentes es determinante en el valor final, a continuación, se presenta la correlación existente entre peso y potencia térmica.

Figura 7. Relación peso de calefactores a pellets de madera en función de la potencia



Fuente: Elaboración propia

Estadísticamente la correlación entre peso y potencia es:

Tabla 11. Análisis estadístico de correlación entre peso y potencia de un calefactor a pellets de madera

Parámetro	X- Potencia (kW)	Y – Peso (kg)
Media	8,13	87,25
Mediana	7,5	80
Desviación Estándar	3	39,1
Varianza	8,95	1525,3
Coefficiente de Correlación	0,77	

Parámetro	X- Potencia (kW)	Y – Peso (kg)
R ²		0,592
Covarianza		88,71
Error Estándar		25,11
Regresión Lineal	Peso(Pot)=5,588+10,047*Potencia	

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados, la correlación peso en función de la potencia es la mejor correlación obtenida para los tres casos con R² 0,592.

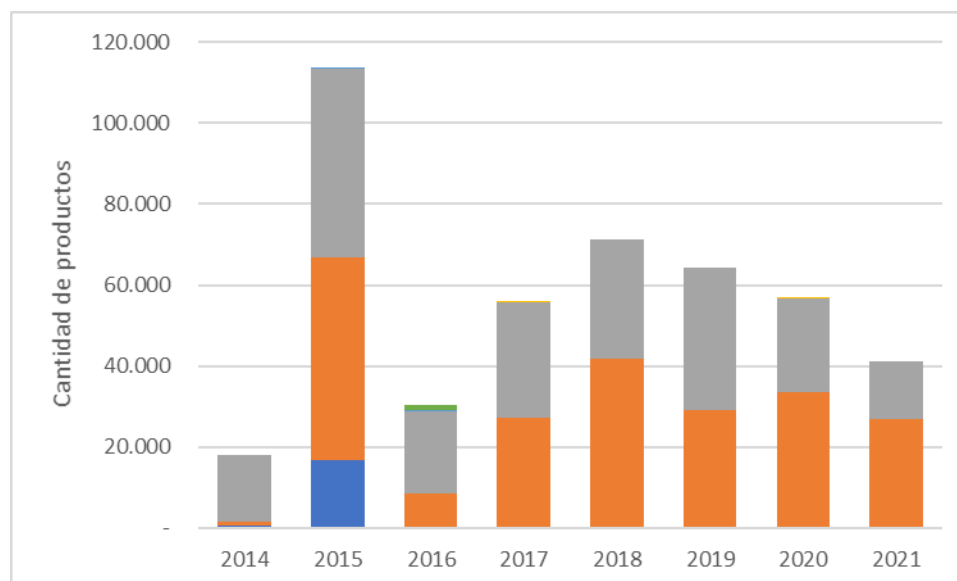
2.2. CALEFACTORES A LEÑA

A continuación, se presenta la caracterización del mercado de calefactores a leña.

2.2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE DISTRIBUCIÓN

La SEC mantiene bases de datos actualizadas respecto de la certificación de calefactores a leña. En ella se encuentran datos de equipos comercializados en el país, ya sean fabricados en Chile, o bien importados. En la figura siguiente se muestra la cantidad de artefactos certificados según marca, entre 2014 y 2021. Es importante mencionar que no se identifican las marcas para no entregar información sensible de las empresas.

Figura 8. Cantidad de calefactores a leña certificados, por año

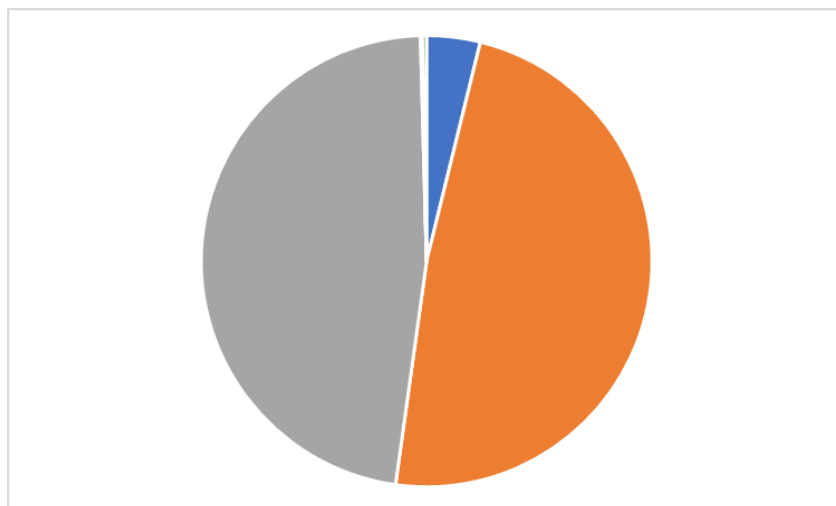


Fuente: Elaborado en base a datos de la SEC

Es importante mencionar que, según la Resolución Exenta 47 de 2014, del Ministerio de Energía, los artefactos que son comercializados en Chile deben contar con una etiqueta de eficiencia energética, por lo que resulta razonable establecer una relación entre las certificaciones realizadas, y los productos comercializados en el mercado nacional. Si bien puede darse que las unidades certificadas en un determinado año no sean comercializadas ese mismo año, sí puede concluirse, con estos datos, respecto de la participación de las marcas en el mercado. Así, si se considera el periodo completo, como

en caso de los calefactores a pellet, dos fabricantes que dominan el mercado, como se muestra en la figura a continuación:

Figura 9. Participación en el mercado de calefactores a leña, periodo 2014-2021



Fuente: Elaborado en base a datos de la SEC

A continuación, se presenta información de las marcas de calefactores certificados:

Tabla 12. Marcas de calefactores a leña certificados entre 2014 y 2021

Marca	Página web	Dirección
Bosca	https://www.bosca.cl/	Santiago, Chile
Amesti	www.amesti.cl	Santiago, Chile.
Nouva	https://www.nouvachile.cl/	Temuco, Chile
Xeos S.P.A.	-	Alemania
Alcazar	https://www.alcazar.cl	Temuco, Chile
Efel	Sin información	

Fuente: Elaboración propia

Respecto de los modelos y características técnicas de los mismos, se encuentra información de las mismas bases de datos de la SEC, lo que se complementa, para el precio y rango de calefacción, con una búsqueda en páginas web realizada por el equipo consultor, y se presentan a continuación. Respecto de los precios, éstos corresponden al precio del artefacto sin instalación, y se buscó obtener el de una gran tienda, de un distribuidor local y del fabricante, aunque no fue posible para todos los modelos. Los 3 precios, se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 13. Características de calefactores a leña certificados en Chile entre 2014 y 2021

MARCA	MODELO	Potencia Térmica Nominal (kW)	Eficiencia Energética (%)	Emisiones de Material Particulado (g/h)	Rango de calefacción (m2)	Precio		
ALCAZAR	370 LOOK	8,0	67,0	1,8	Hasta 100	S.I	S.I	S.I
ALCAZAR	ALCAZAR 390	10,0	70,0	2,0	S.I.	S.I	S.I	S.I
AMESTI	CLASSIC 400	10,5	76,0	2,5	50 a 150	479.900	509.990	319.900
AMESTI	CLASSIC 400-1	10,2	67,0	2,0	50 a 191	479.900	509.990	319.900

MARCA	MODELO	Potencia Térmica Nominal (kW)	Eficiencia Energética (%)	Emisiones de Material Particulado (g/h)	Rango de calefacción (m2)	Precio		
AMESTI	CLASSIC 500	13,4	72,0	1,7	80 a 180	599.900	399.900	639.990
AMESTI	Classic 500-1	12,6	61,0	1,8	80 a 223	599.900	399.900	639.990
AMESTI	Classic 500-2	13,0	70,0	2,0	80 a 223	599.900	399.900	639.990
AMESTI	CLASSIC 500-3	13,0	71,0	2,4	80 a 223	599.900	399.900	639.990
AMESTI	CORNER 650	11,0	63,0	3,1	50 a 160	599.900	639.990	599.900
AMESTI	CUBIC 380	11,5	79,0	2,2	50 a 170	404.900	404.900	436.990
AMESTI	Cubic 380-1	10,0	69,0	1,4	50 a 170	404.900	404.900	436.990
AMESTI	Limit 360	7,0	71,0	2,3	60 a 100	404.900	404.900	399.990
AMESTI	NORDIC 350	7,0	79,0	2,5	30 a 100	314.900	314.900	179.990
AMESTI	NORDIC 350-1	6,5	66,0	2,5	30 a 100	314.900	314.900	179.990
AMESTI	Nordic 350-2	7,1	70,7	2,4	30 a 100	314.900	314.900	179.990
AMESTI	NORDIC 360	8,5	78,0	2,3	40 a 120	364.900	364.900	389.990
AMESTI	NORDIC 360-1	9,0	70,0	2,4	40 a 141	364.900	364.900	389.990
AMESTI	NORDIC 360-2	9,0	70,0	2,3	40 a 141	364.900	364.900	389.990
AMESTI	Nordic 360-3	9,0	71,0	2,9	40 a 141	364.900	364.900	389.990
AMESTI	NORDIC 380	10,4	79,0	2,3	50 a 150	419.900	419.900	369.990
AMESTI	Nordic 380-1	9,2	63,0	2,5	50 a 173	419.900	419.900	369.990
AMESTI	NORDIC 450	13,1	72,0	0,8	80 a 180	479.900	479.900	319.900
AMESTI	Nordic 450-1	11,4	63,0	1,2	80 a 180	479.900	479.900	319.900
AMESTI	Nordic 450-2	13,0	70,0	2,3	80 a 180	479.900	479.900	319.900
AMESTI	NORDIC 450-3	13,0	70,0	2,4	80 a 180	479.900	479.900	319.900
AMESTI	RONDO 440	7,6	79,0	0,9	30 a 110	299.900	299.900	181.890
AMESTI	Rondo 440-2	7,7	74,0	1,8	30 a 126	299.900	299.900	181.890
AMESTI	RONDO 450	8,7	77,0	3,3	40 a 120	349.900	345.900	394.900
AMESTI	Rondo 450 design	10,0	73,0	2,2	40 a 145	394.900	394.900	394.900
AMESTI	Rondo 450-1	7,6	61,0	2,5	40 a 120	349.900	354.900	394.900
AMESTI	Rondo 450-2	8,3	72,0	2,1	40 a 120	349.900	354.900	394.900
AMESTI	RONDO 450-3	8,0	71,0	2,3	40 a 120	349.900	354.900	394.900
AMESTI	Rondo 490	15,7	62,0	1,9	80 a 190	539.900	354.900	579.990
AMESTI	SCANTEK 350	7,0	79,0	2,0	30 a 100	299.900	299.900	269.990
AMESTI	Scantek 350-1	6,3	63,0	2,2	30 a 100	299.900	299.900	269.990
AMESTI	SCANTEK 360	8,5	78,0	2,1	40 a 120	364.900	364.900	239.900
AMESTI	Scantek 360-1	6,6	62,0	1,4	40 a 141	364.900	364.900	239.900
AMESTI	SCANTEK 380	10,2	72,0	1,3	50 a 150	399.900	399.900	399.900
AMESTI	SCANTEK 380-1	9,7	67,0	1,6	50 a 173	399.900	399.900	399.900
AMESTI	Scantek 380-2	9,7	72,0	1,9	50 a 173	399.900	399.900	399.900
AMESTI	Scantek 380-3	10,0	72,0	1,8	50 a 173	399.900	399.900	399.900
BOSCA	ECO 350	7,2	67,0	1,4	30 a 100	329.990	239.990	259.990
BOSCA	ECO 360	8,7	67,0	2,2	40 a 120	389.990	299.900	394.990
BOSCA	ECO 380	10,3	69,0	1,9	50 a 150	429.990	319.990	434.990
BOSCA	ECO FLAME 360-2	8,0	79,0	2,5	180,0	449.990	583.990	549.990
BOSCA	GOLD 380	10,5	70,0	2,4	180,0	469.990	379.990	399.990

MARCA	MODELO	Potencia Térmica Nominal (kW)	Eficiencia Energética (%)	Emisiones de Material Particulado (g/h)	Rango de calefacción (m2)	Precio		
BOSCA	GOLD 500	12,2	66,0	1,8	220,0	629.990	499.990	499.990
BOSCA	LIMIT 350	7,5	71,0	1,9	30 a 100	349.990	319.990	349.990
BOSCA	LIMIT 360	7,0	71,0	2,3	60 a 100	409.990	409.990	399.990
BOSCA	LIMIT 380	10,6	69,0	1,7	50 a 150	449.990	449.990	379.990
BOSCA	Limit 480	13,9	69,0	2,4	220,0	519.990	409.990	519.990
BOSCA	MULTIBOSCA 350	7,0	68,0	1,6	30 a 100	429.990	219.990	434.990
BOSCA	SPIRIT 380	10,8	68,0	3,0	180,0	569.990	569.990	796.990
EFEL	BA-4000	6,1	0,0	2,5	30 a 100	S.I.	S.I.	S.I.
EFEL	CT-4000	6,0	72,0	2,5	30 a 100	S.I.	S.I.	S.I.
EFEL	CT-5000	9,0	0,0	2,4	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
EFEL	CT-6000; BA-6000	0,0	0,0	0,0	50 a 150	S.I.	S.I.	S.I.
NOUVA	ECOEF I	10,0	87,0	1,1	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
NOUVA	LT-400	10,0	84,0	1,8	40 a 150	259.900	S.I.	S.I.
NOUVA	RUSTIC 600	9,9	85,0	0,9	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
XEOOS	X8 BASIC	8,0	82,0	1,3	100,0	2.899.990	S.I.	S.I.
XEOOS	X8 ECO GREEN	8,0	79,0	1,6	100,0	S.I.	S.I.	S.I.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la SEC¹²

Acerca de la cadena de distribución de los fabricantes e importadores, existen 4 maneras de llegar a los clientes, a través de:

- Tiendas propias (aplica a las grandes empresas fabricantes).
- Grandes cadenas de presencia nacional como Easy o Sodimac.
- Cadenas de ferretería como MTS o Chilemat.
- Distribuidores regionales, como comercial Socoepa, o Coopelan Comercial, entre otros.

En la tabla siguiente se muestran las marcas que ofrecen las distintas tiendas consultadas, destacándose que Xeoos, Efel y Nuova solo son ofrecidos es una tienda.

¹² La base de datos de la SEC no contaba con la información de todos los modelos, respecto de eficiencia, potencia y emisiones, por lo que se buscó información en la web y en publicaciones del Ministerio del Medio Ambiente. Sobre el rango de calefacción, la información fue obtenida desde (ATS Energía (ex AETS Sudamérica); SDT-USACH, 2012) y para aquellos productos no mencionados en ese estudio, los datos se buscaron en la web de cada proveedor.

Tabla 14. Marcas de estufas a leña ofrecidas por distintas cadenas de tiendas

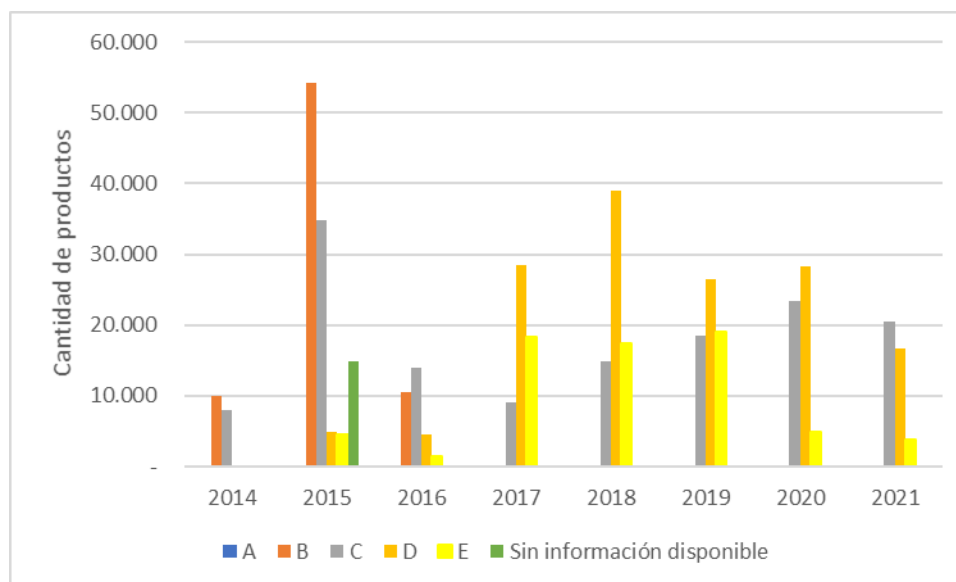
Tienda de distribución de calefactores	Marca de calefactor	Efel	Bosca	Amesti	Nouva	Xeoos	Alcazar
Ripley				√			
ABCDIN			√	√			√
Easy			√	√			√
Mimbral			√				
Chilemat			√	√			
Dimarsa			√	√			√
Comercial SOCOEPA			√	√			
Coopelan Comercial			√	√			
Hites			√	√			
Ferretería DAB			√				
Linio			√				
Ferretería Madrid			√	√			
Comercial Copelec			√				
Multitiendas San Antonio			√	√			
Ferretería Frindt			√				
Ferreterías Oviedo			√	√			
Allipen Ferreterías			√	√			
Comercial El Copihue			√				
Weitzler		√	√	√			
Bosca			√			√	
Alcazar							√
Amesti				√			
Nouva					√		
Coopelan				√			
Valc				√			
Homexperto			√				
Ferrejardín			√				

Fuente: Elaboración propia

2.2.2. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL MERCADO

Según información entregada por la SEC, respecto de la cantidad de artefactos certificados y sus características técnicas principales, como potencia, eficiencia y emisiones, como se muestra en la figura siguiente, no se observa un mejoramiento progresivo de la eficiencia de los productos:

Figura 10. Calefactores a leña certificados en Chile, según año y categoría de eficiencia energética



Fuente: Elaborado en base a datos de la SEC

En la tabla siguiente se muestra el porcentaje de calefactores a leña certificados, según la clase de eficiencia energética (EE). Si bien se aprecia una distorsión en el año 2015, dada la falta de información de la clase de EE, es posible afirmar que la mayoría de los productos certificados, pertenece a las clases C y D. Además, en los primeros años de la muestra estaban presentes calefactores con clase de EE B, los que desaparecieron desde 2017. Según información recopilada en el desarrollo de entrevistas con importadores y fabricantes presentes en el mercado nacional, dichos modelos no desaparecieron de mercado, sino que se produjo un ajuste en el proceso de ensayo, que significó una baja en los valores de eficiencia reportados, sin que esto signifique un cambio en las características técnicas y funcionales del artefacto.

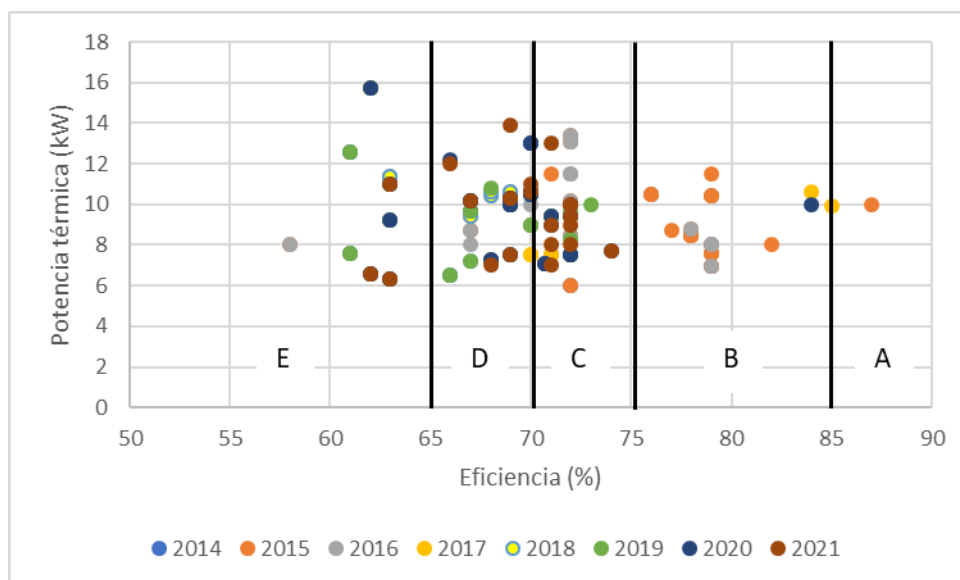
Tabla 15. Porcentaje de unidades de calefactores a leña certificadas por año, según clase de EE

	A	B	C	D	E	Sin información disponible
2014	0,0%	55,7%	44,3%	0,0%	0,0%	0,0%
2015	0,1%	47,7%	30,7%	4,4%	3,9%	13,1%
2016	0,0%	34,4%	45,7%	15,1%	4,9%	0,0%
2017	0,0%	0,1%	16,3%	50,9%	32,6%	0,0%
2018	0,0%	0,0%	20,8%	54,7%	24,5%	0,0%
2019	0,0%	0,0%	28,9%	41,4%	29,7%	0,0%
2020	0,0%	0,3%	41,3%	49,9%	8,6%	0,0%
2021	0,0%	0,0%	50,0%	40,7%	9,2%	0,0%

Fuente: Elaborado en base a datos de la SEC

Si se considera la potencia térmica de los artefactos, se aprecia que no hay una relación clara entre ésta y la EE, como se puede apreciar en la Figura 11 y en la Tabla 16, donde los valores obtenidos son cercanos a 0. En la misma resulta evidente la concentración de equipos en un rango de eficiencia intermedio

Figura 11. Eficiencia versus potencia térmica de calefactores a leña, por año



Fuente: Elaborado en base a datos de la SEC

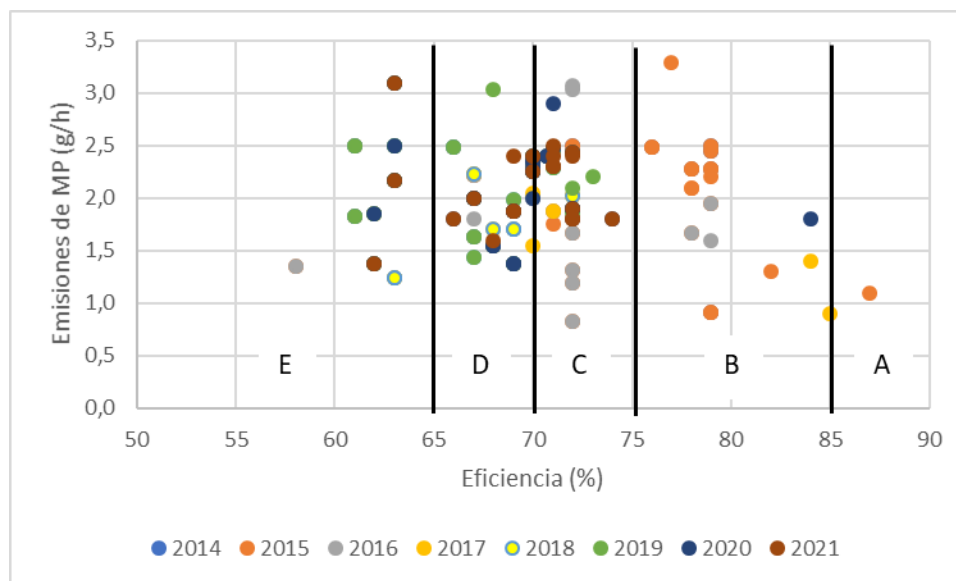
Tabla 16. Coeficiente de correlación entre potencia y eficiencia de calefactores a leña

	Coeficiente de correlación
2014	0,004
2015	-0,061
2016	0,089
2017	-0,058
2018	-0,022
2019	-0,156
2020	-0,091
2021	0,093
Total de la muestra	-0,081

Fuente: Elaboración propia

Respecto de las emisiones de material particulado (MP) de los mismos calefactores, en la Figura 12 se aprecia que desde 2018 desaparecen del mercado modelos con emisiones inferiores a 1 g/h.

Figura 12. Eficiencia versus emisiones de MP de calefactores a leña, por año



Fuente: Elaborado en base a datos de la SEC

Como conclusión general, se puede mencionar que no se aprecia un mejoramiento evidente en lo que respecta a reducción de emisiones o a eficiencia energética con el correr de los años. Es más, si se complementa el análisis de la figura con la revisión de la Tabla 15, se puede observar una caída en la eficiencia de los artefactos, dado que desaparecen del mercado aquellos con eficiencia A y B.

2.2.3. CORRELACIÓN DE COSTOS EN FUNCIÓN DE LA EFICIENCIA PESO Y POTENCIA PARA CALEFACTORES A LEÑA

Para los calefactores a leña, básicamente, la estructura de costos queda definida por los materiales, obra de mano y los márgenes de venta de los respectivos modelos.

A manera referencial, en el mercado se observa que los costos de los diferentes componentes en caso de reemplazo son los siguientes:

Tabla 17. Componentes y sus precios, calefactores a leña

Componentes	Valores referenciales
Estructura de acero calefactor (Chapa de acero 5 mm aproximadamente (59% de costo total – Ref: Fabricante nacional considerando media de \$ 400.000)	\$ 236.000
Templador de acero (duración 3 a 4 años)	\$ 40.000
Sellos de puerta (rodón y cinta)	\$ 19.000
Cristal Cerámico u otro	\$ 45.000
Ladrillos refractarios	\$ 50.700
Cenicero	\$ 30.000

Fuente: Precios entregados por fabricantes, como repuestos, en sus páginas web

No obstante, para verificar la relación costos y eficiencia energética, a partir de la base de datos oficial de la SEC, se hacen las siguientes estimaciones para verificar alguna correlación existente en el mercado:

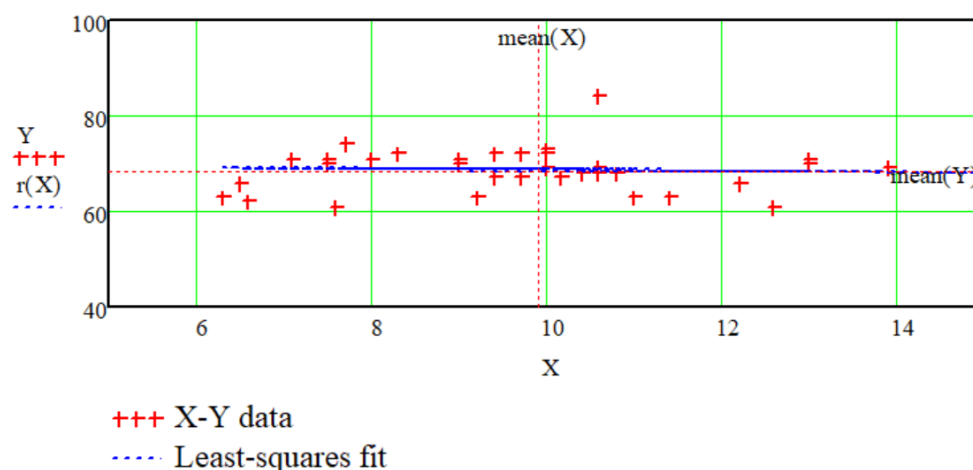
- Relación eficiencia en función de la potencia
- Relación costos en función de la potencia
- Relación peso de calefactor en función de la potencia

Para cada caso se establecen regresiones lineales con sus respectivas variables estadísticas.

Caso 1: Relación eficiencia en función de la potencia

En la siguiente figura se establece la tendencia de la correlación y en la tabla adjunta los respectivos parámetros estadísticos:

Figura 13. Regresión lineal de eficiencia en función de la potencia (kW), calefactores a leña



Fuente: Elaboración propia

Estadísticamente la correlación entre eficiencia y potencia es:

Tabla 18. Análisis estadístico de correlación entre eficiencia y potencia de un calefactor a leña

Parámetro	X- Potencia (kW)	Y – Eficiencia η (%)
Media	9,92	68,57
Mediana	9,85	69,5
Desviación Estándar	2,25	4,42
Varianza	5,1	19,6
Coficiente de Correlación		-0,0567
R ²		0,003
Covarianza		-0,55
Error Estándar		4,48
Regresión Lineal	$\eta(\text{Potencia})=69,678-0,112*\text{Potencia}$	

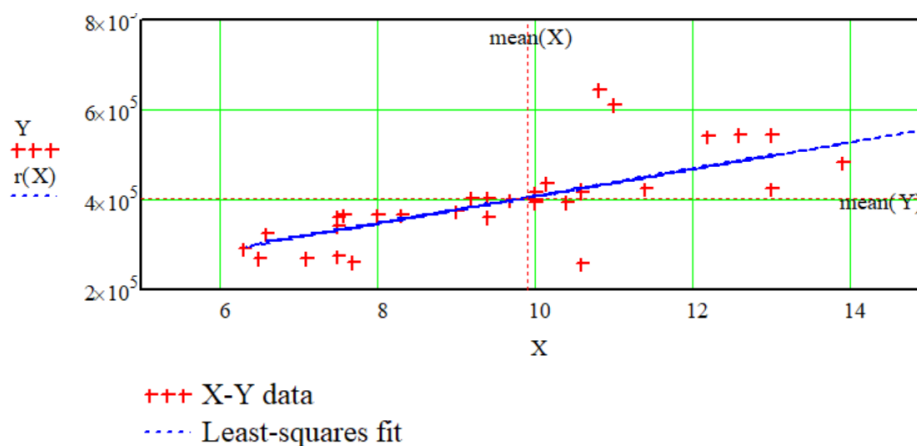
Fuente: Elaboración propia

Como se observa de los valores anteriores no existe correlación entre la eficiencia y la potencia de los calefactores a leña.

Caso 2: Relación costo en función de la potencia

En la siguiente figura se establece la tendencia de la correlación y en la tabla adjunta los respectivos parámetros estadísticos:

Tabla 19. Regresión lineal del costo en función de la potencia (kW), calefactores a leña



Fuente: Elaboración propia

Estadísticamente la correlación entre costos y potencia es:

Tabla 20. Análisis estadístico de correlación entre precio y potencia de un calefactor a leña

Parámetro	X- Potencia (kW)	Y – Precios \$ (CLP)
Media	9,92	405.821
Mediana	9,85	399.900
Desviación Estándar	2,25	94.127
Varianza	5,1	8.859.957.222
Coefficiente de Correlación	0,72	
R ²	0,52	
Covarianza	149.257	
Error Estándar	65.813	
Regresión Lineal	Costos(Pot)=105.211+30.306*(Potencia)	

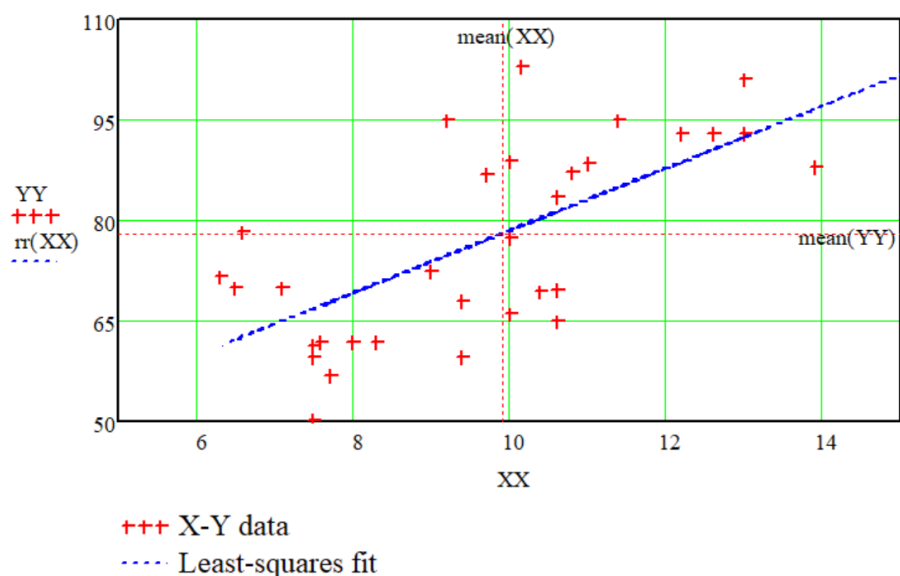
Fuente: Elaboración propia

El coeficiente de correlación y/o R² muestra que existe una correlación moderada entre los costos de la estufa y su potencia.

Caso 3: Relación peso de calefactor en función de la potencia

Considerando que en un proceso de fabricación por lotes normalmente el peso asociado a sus componentes es determinante en el valor final, a continuación, se presenta la correlación existente entre peso y potencia térmica.

Figura 14. Relación peso de calefactores a leña en función de la potencia



Fuente: Elaboración propia

Estadísticamente la correlación entre peso y potencia es:

Tabla 21. Análisis estadístico de correlación entre peso y potencia de un calefactor a leña

Parámetro	X- Potencia (kW)	Y – Peso (kg)
Media	9,92	78,2
Mediana	9,85	75
Desviación Estándar	2,25	14,6
Varianza	5,1	213
Coefficiente de Correlación	0,72	
R ²	0,52	
Covarianza	22,9	
Error Estándar	10,3	
Regresión Lineal	Peso(Pot)=31,99+4,66*Potencia	

Fuente: Elaboración propia en base a información de mercado y datos SEC

Al igual que el caso anterior, el coeficiente de correlación y/o R² muestra que existe una correlación moderada entre el peso de la estufa y su potencia.

2.3. CONSULTA AL MERCADO NACIONAL

Con el fin de recopilar información desde fabricantes y distribuidores presentes en el mercado nacional, se realizó una consulta a 28 empresas del mercado nacional,

obteniéndose respuestas de 7. El detalle de las empresas consultadas y las preguntas realizadas se muestra en el Anexo 3.

De la realización de las consultas a agentes relevantes, donde se trató de manera agregada la experiencia con calefactores a pellets de madera y a leña, se obtienen los siguientes resultados:

- Respecto de la **desaparición de calefactores con eficiencias superiores** del mercado, los entrevistados coinciden que esto no se debe a que fabricantes o importadores hayan desmejorado la eficiencia de sus productos, sino que en un principio no existía claridad en el desarrollo de los ensayos, por lo que distintos laboratorios consideraban diferentes poderes caloríficos, entregando resultados no comparables. Los mismos entrevistados mencionan que la SEC emitió una instrucción que solucionó el problema.
- En elemento que es mencionado transversalmente, corresponde al **alto costo y corta vigencia de los certificados**. Se menciona que éstos tienen una vigencia de hasta 18 meses lo que, considerando la estacionalidad de las ventas, se considera muy reducido. Uno de los entrevistados indica que cualquier cambio que se quiera hacer para mejorar la eficiencia o emisiones de un calefactor requiere ser certificado, y existe posibilidad de no superar la certificación. Indica que certificar una estufa tiene un costo de 4 a 5 millones de pesos (lo que ascendía hasta un 40% de los costos de su producción) y que por lo tanto el costo de certificar el lote es difícil de cumplir para empresas pequeñas. Además, indica que como la venta de estufas es estacional, en la práctica la certificación es válida solo durante 6 meses. Otro entrevistado menciona además del alto costo de la certificación, que es un el proceso es más complejo que en Estados Unidos o Europa; indica que, para este último, la certificación es permanente para una tipología de calefactor. Un tercer entrevistado también indica que es caro y tienen problemas con los plazos.
- Los fabricantes e importadores consultados coinciden en que **los consumidores no valoran la etiqueta de eficiencia energética**. Menciona que entre los elementos más relevantes en la decisión de compra están el precio, la marca y el diseño, junto con el rango de calefacción (superficie calefaccionada). Adicionalmente, se señala que los consumidores no comprenden la información que en ella se entrega y que no permite cuantificar ahorros ni disminución de emisiones.
- También respecto a la **etiqueta de eficiencia energética**, uno de los entrevistados indica que todos los equipos de los distintos fabricantes están en el mismo rango de eficiencia, por lo que no es posible saber si realmente marca una diferencia o no. Indica que típicamente los calefactores a pellets son A o B y que, si existieran mayores categorías superiores, habría una mejor distinción de los equipos que tienen altas eficiencias.
- Respecto de **cambios en las líneas de producción** que se hayan realizado, estos no respondieron a la búsqueda de mayores eficiencias o menores emisiones, si no que a una estandarización de la producción. Fabricantes nacionales mencionaron el uso de corte láser como una mejora importante implementada.
- Consultados los fabricantes respecto de **sobrecostos motivados por mejorar la eficiencia energética de los calefactores**, ninguno menciona algún cambio en específico. Como ya se mencionó, se destaca la inclusión de corte láser de las chapas, lo que permitió tener una producción estandarizada, a diferencia de lo que

ocurría con el corte con guillotina. Esta estandarización permitió una optimización del proceso de construcción de los calefactores.

- Ante la consulta referente a **alzas de precios dada la mejora en la producción** de calefactores, los entrevistados no dan cuenta de que esto ocurriera. Es más, un fabricante destacó que eventuales alzas se compensaron con la mejora de la producción.
- Un entrevistado indica que podrían existir **aumentos de costos** asociados a debido a un mayor volumen de la cámara de combustión, que podría modificar las dimensiones del calefactor y, por tanto, la cantidad de ellos que caben en un container, encareciendo los costos de transporte.
- Otro elemento que es transversalmente mencionado por los entrevistados, corresponde a la **criticidad del nivel de humedad de la leña** en el desempeño de sus calefactores. Se destaca que mientras más eficiente el calefactor, las emisiones dependerán fuertemente del nivel de humedad de la leña. Así, un calefactor más eficiente presentaría mayores emisiones que uno menos eficiente, si se opera con leña húmeda.
- En la misma línea, se destaca que la **calidad de los pellets de madera** es muy relevante para el funcionamiento de los mismos. No existe homogeneidad entre marcas ni tampoco entre partidas de la misma marca. Una de las diferencias que se mencionan es el porcentaje de cenizas que, al ser mayor, provoca que las mantenciones de los calefactores deban realizarse más seguido.
- Respecto de **mejoras tecnológicas que puedan aplicarse para mejorar la eficiencia**, los agentes del mercado consultados coinciden en la importancia del flujo de aire y el tiempo de residencia de los gases producto de la combustión en el calefactor. Sin embargo, estas medidas no tienen un costo ni un impacto predecible, dado que en el desempeño de una estufa se conjugan múltiples variables interrelacionadas.
- Respecto de las barreras, además de las ya mencionadas, los entrevistados indicaron las siguientes:
 - **Problemas para patentar tecnología:** Esta barrera es exclusiva para fabricantes locales. Indica que les rechazaron la patente y que luego la innovación realizada fue copiada.
 - **Políticas de reemplazo de la leña:** Un entrevistado indica que el Ministerio del Medio Ambiente tiene como meta sacar a la leña de la matriz energética. Creen que la leña tiene un buen futuro, pero se debe regular de mejor manera el combustible.
 - **Duración del templador:** Típicamente los templadores duran 5 a 6 meses y los usuarios no los cambian, esto genera que los calefactores operen ineficientemente.
 - **Variabilidad de resultados de certificación:** Los entrevistados indican que, a pesar del estándar, existe variabilidad en la humedad de la leña, la posición y la manera en que cae el leño. Todo esto afecta a las emisiones, aunque no indica de manera clara si también a la eficiencia. Un entrevistado indica que incluso tienen modelos iguales con distinto etiquetado.

- **Límite de eficiencia:** Uno de los entrevistados, que cuenta con un equipo de los que están en el mayor rango de eficiencia, indica que estos modelos están en el límite de la eficiencia y que para subir 3 o 4 puntos de eficiencia, se requiere mucho trabajo.
- **Cumplimiento simultáneo de emisiones y eficiencia:** Un entrevistado indica que, si bien existen modelos con un alto nivel de cumplimiento de ambos parámetros simultáneamente, estos presentan un aumento importante de precio y además son difíciles de operar.
- **No es posible predecir las mejoras:** Un entrevistado indica que la única manera de poder cumplir con las emisiones y eficiencias es a través de prueba y error; indica que se ha intentado hacer modelos computacionales, pero no resultan en la práctica.

Es importante destacar que las opiniones entregadas por los fabricantes no necesariamente representan el pensamiento de este equipo consultor.

2.4. ANÁLISIS TRANSVERSALES

A partir de la base de datos de estufas a leña y pellets de madera de la SEC, se ha procedido a identificar las características técnicas desde un punto de vista de la eficiencia energética (%) y de la tasa de emisión de material particulado (g/h) que registran tales equipos de acuerdo a mediciones realizadas por los laboratorios de ensayo autorizados.

Los rangos de potencia para los equipos certificados oscilan entre 6 y 15,7 kW para estufas a leña y 4 y 24 kW para estufas a pellets de madera. Un análisis preliminar del universo de la base de datos, no permite observar una correlación entre los diferentes equipos, potencias, eficiencias y tasa de emisión de material particulado. Por esta razón, y de acuerdo a la legislación vigente establecida por el Ministerio de Energía mediante Resolución 20, Exenta, del 9 de noviembre del 2016 que determina las especificaciones técnicas de la etiqueta de consumo energético de calefactores se ha procedido a segregar los equipos inicialmente por su eficiencia energética y luego por la tasa de emisión de material particulado.

La siguiente tabla muestra las clases de eficiencia energética a partir del índice de Eficiencia Energética

Tabla 22. Clases de eficiencia energética de artefactos en Chile

Clase de Eficiencia Energética	Índice de Eficiencia Energética
A	$85\% < \eta$
B	$75\% < \eta \leq 85\%$
C	$70\% < \eta \leq 75\%$
D	$65\% < \eta \leq 70\%$
E	$\eta \leq 65\%$

Fuente: Ministerio de Energía

Por otra parte, de acuerdo a lo establecido en el Decreto 39 de 2011 del Ministerio del Medio Ambiente que fue revisado por el Decreto 46 del 4 de marzo del 2014 se ha establecido la norma de emisión de material particulado para los artefactos que combuscionen leña o pellet de madera en función de su potencia, esto es:

Tabla 23. Exigencias para emisiones de MP2,5 en Chile

Potencia Térmica Nominal	Tasa de Emisión de MP2,5 (g/h)
Menor a 8 kW	2,5
Mayor o igual 8 y menor que 14 kW	3,5
Mayor o igual a 14 kW y menor o igual a 25 kW	4,5

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente

Con base en lo anterior, se ha desarrollado un análisis estadístico considerando rangos de potencia más pequeños determinando así intervalos de confianza con coeficientes del 95% tanto para las mediciones de eficiencia como de material particulado.

Estos intervalos, podrán identificar para cada rango seleccionado de potencia los niveles tecnológicos de los calefactores a leña y pellets de madera para la realidad nacional que actualmente ha sido certificada y/o importada al mercado nacional.

De esta manera se desarrolla una estimación de intervalo para una media poblacional cuando el tamaño de la muestra es pequeño en una distribución t, de acuerdo a:

$$\bar{x} \pm t_{\frac{\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Donde:

- \bar{x} : Media de la eficiencia energética o tasa de emisión de material particulado reportado por los ensayos de laboratorio para cada rango de potencias analizado
- $\frac{\alpha}{2}$: Se asocia al coeficiente de confianza (1- α) establecido en un 95%
- s : Desviación estándar
- n : Tamaño de la muestra

Siendo así, de la base de datos para estufas a leña, se ha considerado segregar rangos de potencia (P, en kW) para: $6 \leq P < 8$, $8 \leq P < 10$, $10 \leq P < 12$, $12 \leq P < 14$ y $14 \leq P < 20$.

Es importante mencionar que, dados los problemas identificados en los resultados de las certificaciones en lo que se refiere a eficiencia, se procedió a restringir el análisis, considerando valores únicos obtenidos con posterioridad a 2017.

2.4.1. CALEFACTORES A LEÑA

Inicialmente, para cada rango de potencia se estableció un ranking a partir de las eficiencias máximas hasta la menor. Los resultados son mostrados a continuación y cada fila secuencialmente muestra la potencia térmica (kW), el fabricante, el modelo, la eficiencia energética (%) y la tasa de emisión de material particulado reportado (g/h).

Tabla 24. Características de estufas a leña con potencia menor a 8 kW

Modelo	Potencia (kW)	Eficiencia (%)	Emisiones MP (g/h)	Precio promedio (clp)
Rondo 440-2	7,7	74	1,8	260.563
Limit 350	7,5	71	1,87	339.990
Nordic 350-2	7,1	70,7	2,4	269.930
Multibosca 350	7,5	70	1,54	361.657
Eco 350	7,5	70	2,04	276.657

Modelo	Potencia (kW)	Eficiencia (%)	Emisiones MP (g/h)	Precio promedio (clp)
Nordic 350-1	6,5	66	2,49	269.930
Scantek 350-1	6,3	63	2,17	289.930
Scantek 360-1	6,6	62	1,37	323.233
Rondo 450-1	7,58	61	2,5	366.566

Fuente: Datos SEC con precios de mercado

Tabla 25. Características de estufas a leña, con potencia mayor o igual a 8 y menor a 10 kW

Modelo	Potencia (kW)	Eficiencia (%)	Emisiones MP (g/h)	Precio promedio (clp)
Rondo 450-2	8,3	72	2,1	366.567
Eco 360	9,4	72	2,02	361.627
Scantek 380-2	9,7	72	1,86	399.900
Nordic 360-3	9	71	2,9	373.263
Rondo 450-3	8	71	2,3	366.567
Nordic 360-1	9	70	2,4	373.263
Nordic 360-2	9	70	2,3	373.263
Limit 360	9,4	67	2,23	403.263
Scantek 380-1	9,7	67	1,63	399.900
Nordic 380-1	9,2	63	2,5	403.263

Fuente: Datos SEC con precios de mercado

Tabla 26. Características de estufas a leña, con potencia mayor o igual a 10 y menor a 12 kW

Modelo	Potencia (kW)	Eficiencia (%)	Emisiones MP (g/h)	Precio promedio (clp)
LT-400	10,6	84	1,4	259.900
Rondo 450 design	10	73	2,2	394.900
Scantek 380-3	10	72	1,8	399.900
Cubic 380-1	10	69	1,38	415.597
Limit 380	10,6	69	1,7	426.657
Glod 380	10,6	68	1,55	416.657
Spirit 380	10,8	68	3,04	645.657
Eco 380	10,4	68	1,7	394.990
Classic 400-1	10,15	67	2	436.597
Corner 650	11	63	3,09	613.263
Nordic 450-1	11,4	63	1,24	426.567

Fuente: Datos SEC con precios de mercado

Tabla 27. Características de estufas a leña, con potencia mayor o igual a 12 y menor a 14 kW

Modelo	Potencia (kW)	Eficiencia (%)	Emisiones MP (g/h)	Precio promedio (clp)
Classic 500-3	13	71	2,4	546.597
Nordic 450-3	13	70	2,4	426.567
Nordic 450-2	13	70	2,3	426.567

Modelo	Potencia (kW)	Eficiencia (%)	Emisiones MP (g/h)	Precio promedio (clp)
Classic 500-2	13	70	2	546.596
Limit 480	13,9	69	2,4	483.323
Gold 500	12,2	66	1,8	543.323
Classic 500-1	12,6	61	1,83	546.597

Fuente: Datos SEC con precios de mercado

Tabla 28. Características de estufas a leña, con potencia mayor o igual a 14 kW

Modelo	Potencia (kW)	Eficiencia (%)	Emisiones MP (g/h)	Precio promedio (clp)
Rondo 490	15,7	62	1,85	491.597

Fuente: Datos SEC con precios de mercado

A partir de esta subdivisión, estadísticamente se ha podido determinar para los diferentes rangos de potencias, los intervalos de confianza en los cuales se encuentran los calefactores a leña tanto para la eficiencia energética como para la tasa de emisión de material particulado.

Tabla 29. Intervalos de confianza para distintos rangos de potencia en calefactores a leña

Rango de potencia (kW)	Intervalo de confianza eficiencia energética	Intervalo de confianza emisión particulado (g/h)	Intervalo de precios cobrado (clp)
Menor a 8 kW	$67,5 \pm 3,6 \%$	$2,0 \pm 0,3$	Máx: 366.567 Media: 306.495 Mín: 260.563
Mayor o igual a 8 – Menor a 10	$69,5 \pm 2,1 \%$	$2,2 \pm 0,3$	Máx: 403.263 Media: 382.088 Mín: 361.627
Mayor o igual a 10 – Menor a 12 kW	$69,5 \pm 3,8 \%$	$1,9 \pm 0,4$	Máx: 645.657 Media: 439.153 Mín: 259.900
Mayor o igual a 12 – Menor a 14 kW	$68,1 \pm 3,3 \%$	$2,2 \pm 0,3$	Máx: 546.597 Media: 502.796 Mín: 426.567
Mayor o igual a 14	Sin información	Sin información	Sin información

Fuente: Elaboración propia en base a datos SEC y precios de mercado

Lo anterior permite identificar, que los niveles de incertidumbre tecnológico y de ensayos para la eficiencia energética y la emisión de material particulado se encuentran en rangos máximos de 4,6% y 0,4 (g/h) respectivamente. Esto, permite establecer mínimos a partir de las opciones tecnológicas disponible en el mercado.

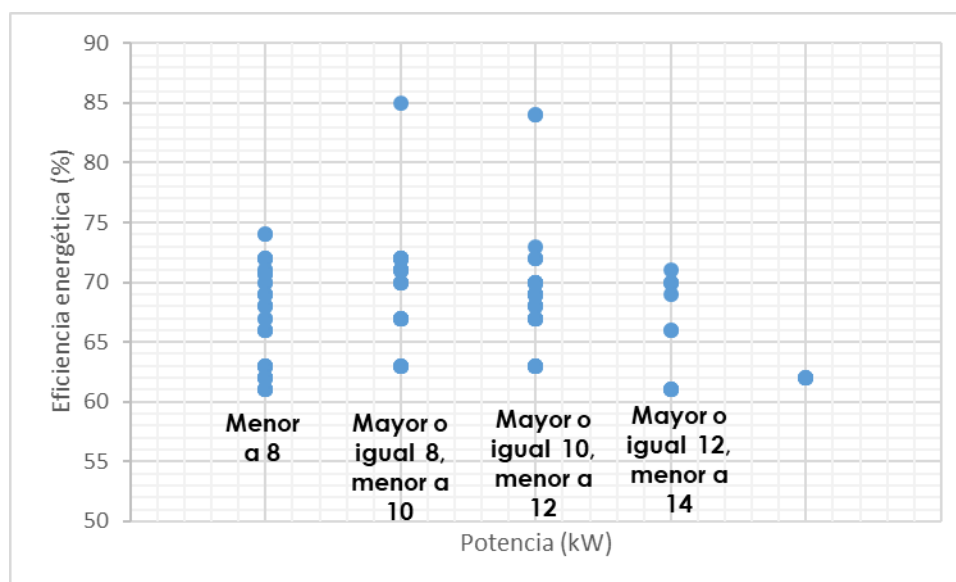
Tabla 30. Intervalos de confianza para emisiones y eficiencia, calefactores a leña ofrecidos en el mercado nacional

Rango de potencia (kW)	Eficiencia energética (%)	Intervalo de confianza emisión particulado 2,5 (g/h)
Menor a 8 kW	Máximo 74% Media 67,5 % Mínimo aceptable $67,5 - 3,8\% = 63,7\%$	Mínimo 1,4 Media 2,0 Máximo aceptable $2,5 - 0,4 = 2,1$
Mayor o igual a 8 – Menor a 10	Máximo 72% Media 69,5 % Mínimo aceptable $69,5 - 3,8\% = 65,7\%$	Mínimo 1,6 Media 2,2 Máximo aceptable $2,9 - 0,4 = 2,5$
Mayor o igual a 10 – Menor a 12 kW	Máximo 84% Media 69,5 % Mínimo aceptable $69,5 - 3,8\% = 65,7\%$	Mínimo 1,2 Media 1,9 Máximo aceptable $3,0 - 0,4 = 2,6$
Mayor o igual a 12 – Menor a 14 kW	Máximo 71% Media 68,1 % Mínimo aceptable $68,1 - 3,8\% = 64,3\%$	Mínimo 1,8 Media 2,2 Máximo aceptable $2,4 - 0,4 = 2,0$
Mayor o igual a 14	S/I	S/I

Fuente: Elaboración propia en base a datos SEC

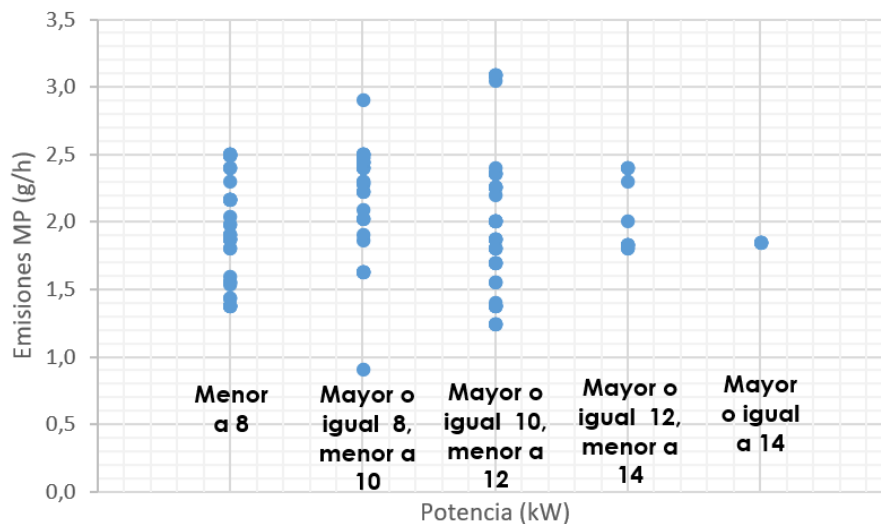
Luego, con el fin de revisar la situación de una manera gráfica, se agregan las figuras siguientes, donde se puede apreciar la eficiencia y las emisiones, en función del rango de potencia del calefactor a leña:

Figura 15. Eficiencia de calefactores a leña en función del rango de potencia



Fuente: Elaboración propia en base a datos SEC

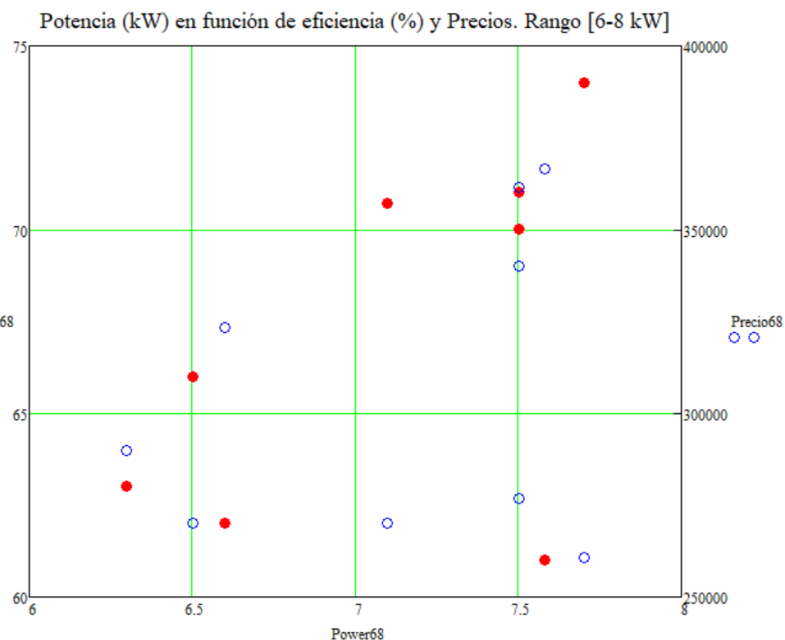
Figura 16. Emisiones de MP de calefactores a leña en función del rango de potencia



Fuente: Elaboración propia en base a datos SEC

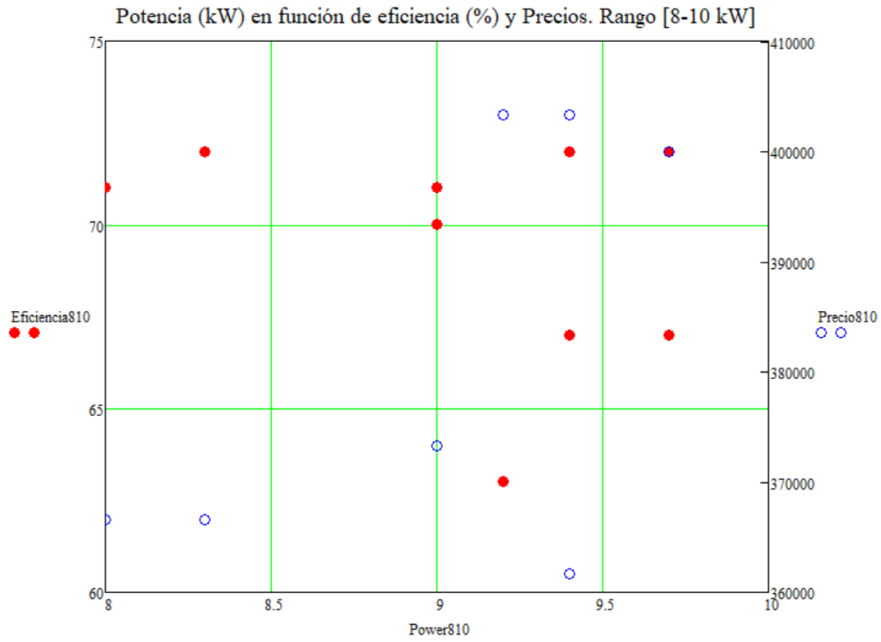
Con el objetivo de evaluar potenciales correlaciones entre precios, eficiencia y/o emisiones los siguientes gráficos han sido preparados para el segmento de potencias estudiados, es decir (6-8 kW), (8-10 kW), (10-12 kW) y (12-14 kW).

Figura 17. Potencia en función de eficiencia y precios, calefactores a leña menor a 8 kW



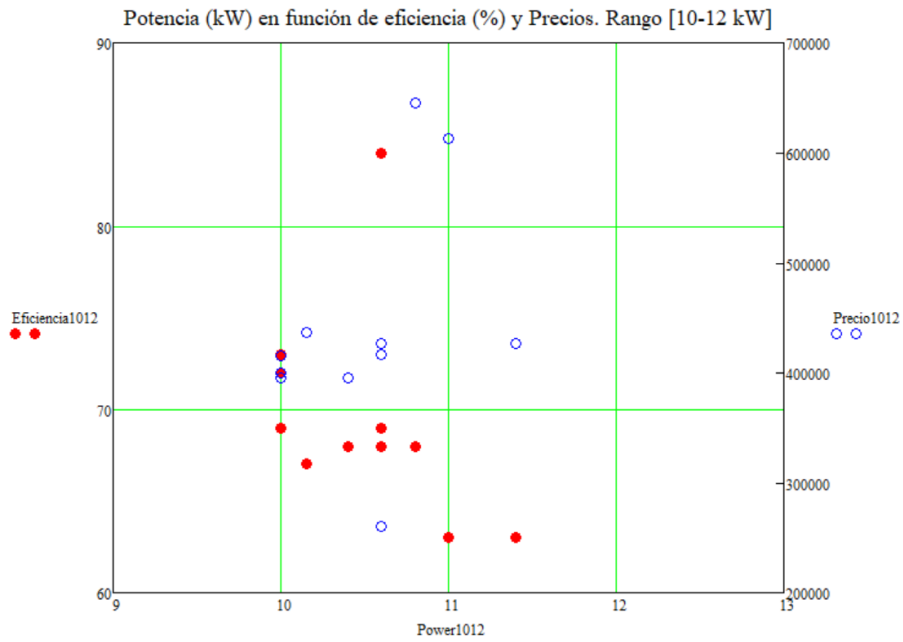
Fuente: Elaboración propia

Figura 18. Potencia en función de eficiencia y precios, calefactores a leña mayor o igual a 8 y menor a 10 kW



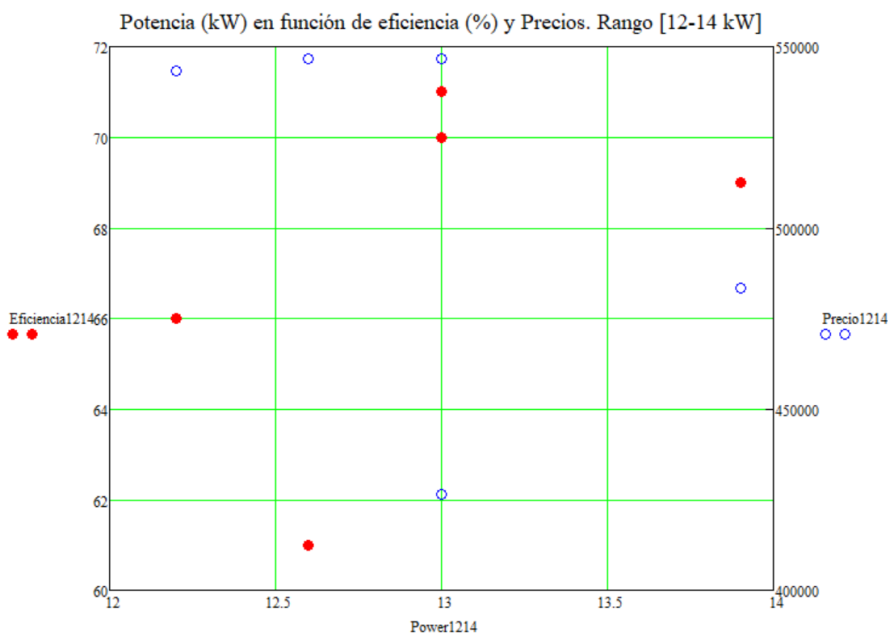
Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Potencia en función de eficiencia y precios, calefactores a leña, mayor o igual a 10 y menor a 12 kW



Fuente: Elaboración propia

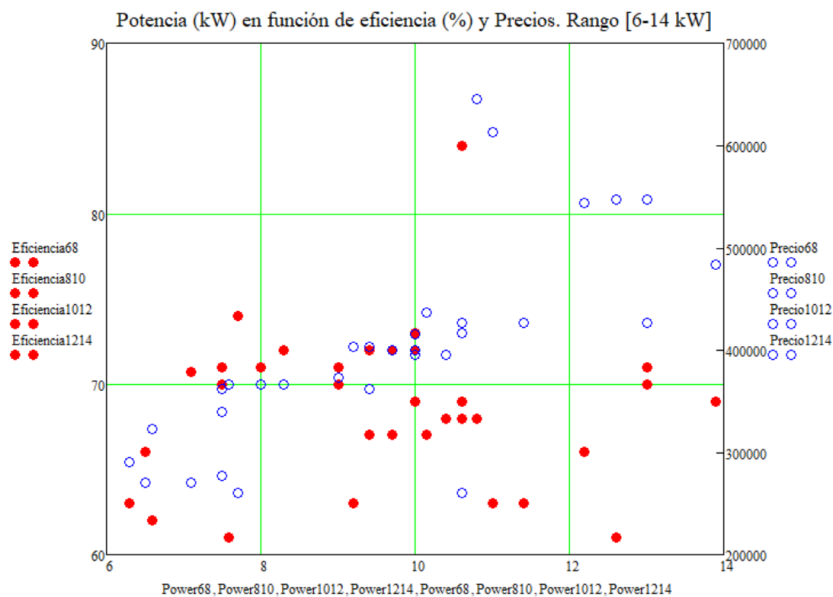
Figura 20. Potencia en función de eficiencia y precios, calefactores a leña, mayor o igual a 12 y menor a 14 kW



Fuente: Elaboración propia

Con el objetivo de tener una mirada global para el comportamiento de las eficiencias y precios en función de todo el rango de potencias, el siguiente gráfico muestra tal comportamiento

Figura 21. Potencia en función de eficiencia y precios, calefactores a leña



Fuente: Elaboración propia

La correlación precios y eficiencia no es clara de los resultados anteriores, en efecto, como se observa del gráfico, entre el rango de potencias entre 12 y 14 kW los precios son altos con eficiencias entre 60 y 70% mientras que entre el rango de potencias entre 6 y 8 kW con eficiencias sobre 70% los precios son más bajos que en el caso anterior.

Si es evidente, que a mayor potencia de la estufa los precios son más altos, confirmando que el costo queda fuertemente determinado por el área de calefacción que la estufa puede calefaccionar.

2.4.2. CALEFACTORES A PELLETS DE MADERA

Para los calefactores a pellets de madera se realiza el mismo análisis y la subdivisión de potencias es la siguiente:

Tabla 31. Características de calefactores a pellets de madera, potencia menor a 8 kW

Modelo	Potencia (kW)	Eficiencia (%)	Emisiones MP (g/h)	Precio promedio (clp)
Hera	6	92	1,89	824.990
Thema	7,2	90	1,9	949.000
Nicoleta	5,2	89	2,4	979.366
Inserto Crystal 700	7,6	89	1,6	2.074.901
Módena	6,8	89	2,3	790.000
Mila 6	6	89	1,9	719.990
WO 85	7,5	89	1,6	1.260.000
Portofino 7000	7,5	89	1,2	1.275.963
Baby 5	5,3	88	1,7	990.000
Camila	4,8	88	1,6	849.990
Llaima	6,9	88	1,8	705.250
Bella	5	88	1,9	889.000
Pasillo Power	5	88	1,9	825.997
Urban	7,1	87	2,1	1.390.000
Echos	5	87	1,6	684.450
Kiara	7,9	87	1,3	1.321.395
P1500-1	4,3	86	1,4	855.567
Italy 7000	7,3	86	2,4	761.305
NB-PSC	6,2	86	1,6	1.069.627
Mon Amour	6,8	86	1,6	1.307.200

Fuente: Datos SEC con precios de mercado¹³

¹³ Se muestran solamente 20 equipos de un total de 45

Tabla 32. Características de calefactores a pellets de madera, potencia mayor o igual a 8 y menor a 10 kW

Modelo	Potencia (kW)	Eficiencia (%)	Emisiones MP (g/h)	Precio promedio (clp)
Dafne	9	90	1,8	1.140.000
Mood	9,6	88	1,7	1.790.000
Hera +	9	88	1,85	823.323
Fusion 8.2	8,4	88	1,7	1.310.990
WO 135	9,7	88	1,6	1.560.000
Italy 8100 plus	9,3	87	1,9	891.597
NB-PSC9	9,5	86	1,5	959.990
Eco Heat	9,3	86	2,3	999.000
Easy Power	8,2	86	1,7	1.180.000
Italy 8100	8,55	86	2,36	893.293
Astra 8	8,3	86	1,9	830.307
Alice	9	86	2,2	1.575.000
Alaska 850	8,7	86	1,7	1.066.627
PS 9800	8,6	86	1,2	1.099.990
Flora 7	8,4	82	2,4	879.900
P-2000	8,9	82	1,4	1.202.597
AT-ZL PM08	8,4	81	1,9	739.990
Ecoandes	9,4	80	2,9	870.000

Fuente: Datos SEC con precios de mercado

Tabla 33. Características de calefactores a pellets de madera, con potencia mayor o igual a 10 y menor a 12 kW

Modelo	Potencia (kW)	Eficiencia (%)	Emisiones MP (g/h)	Precio promedio (clp)
Eco Smart 9	10,4	87	1,4	934.990
Classic Canalizable	10,2	87	1,9	2.185.333
Carla Air	10,5	86	1,8	1.225.00
Eco Power	11,7	86	2	1.299.000
Audax 10	10,3	86	1,7	1.199.000
Eco Heat Smart	10,2	86	2,2	1.099.000
Audax 8	10,3	86	1,7	1.163.000

Fuente: Datos SEC con precios de mercado

Tabla 34. Características de calefactores a pellets de madera, potencia mayor o igual a 12 y menor a 14 kW

Modelo	Potencia (kW)	Eficiencia (%)	Emisiones MP (g/h)	Precio promedio (clp)
P163T	12,1	87	1,6	3.701.100
Atena V	13	87	1,5	2.510.014
P163	12,1	87	1,6	4.036.667
P-3000	12	84	1,2	1.362.960

Fuente: Datos SEC con precios de mercado

Tabla 35. Características de calefactores a pellets de madera, potencia mayor o igual a 14 kW

Modelo	Potencia (kW)	Eficiencia (%)	Emisiones MP (g/h)	Precio promedio (clp)
New Idro 17	16,1	94	1,7	3.870.000
HRV 160 Touch	24	92	1,9	3.685.905
HVR 100 Touch	15,7	92	1,4	2.761.690

Fuente: Datos SEC con precios de mercado

Al igual que las calefactores a leña, estadísticamente se ha podido determinar para los diferentes rangos de potencias, los intervalos de confianza en los cuales se encuentra la tecnología de estufas de pellets de madera, tanto para la eficiencia energética, como para la tasa de emisión de material particulado.

Tabla 36. Intervalos de confianza para distintos rangos de potencia en calefactores a pellets de madera

Rango de potencia (kW)	Intervalo de confianza eficiencia energética (%)	Intervalo de confianza emisión particulado (g/h)	Intervalo de precios cobrados (clp)
Menor a 8 kW	84,7 ± 1,3 %	1,8 ± 0,1	Máx: 2.634.657 Media: 1.117.090 Mín: 599.990
Mayor o igual a 8 – Menor a 10	85,7 ± 1,3 %	1,9 ± 0,2	Máx: 1.790.000 Media: 1.100.700 Mínimo: 739.990
Mayor o igual a 10 – Menor a 12 kW	86,3 ± 0,5 %	1,8 ± 0,2	Máx: 2.185.333 Media: 1.300.760 Mín: 934.440
Mayor o igual a 12 – Menor a 14 kW	86,3 ± 2,4 %	1,5 ± 0,3	Máx: 4.036.667 Media: 2.902.685 Mín: 1.362.960
Mayor o igual a 14	92,7 ± 2,9	1,7 ± 0,6	Máx: 3.870.000 Media: 3.439.198 Mín: 2.761.690

Fuente: Elaboración propia en base a datos SEC

Para los calefactores a pellets de madera los niveles de incertidumbre tecnológico y de ensayos para la eficiencia energética y la emisión de material particulado se encuentran en rangos máximos de 1% y 0,1 (g/h) respectivamente. Esto, permite establecer mínimos a partir de las opciones tecnológicas disponibles en el mercado nacional.

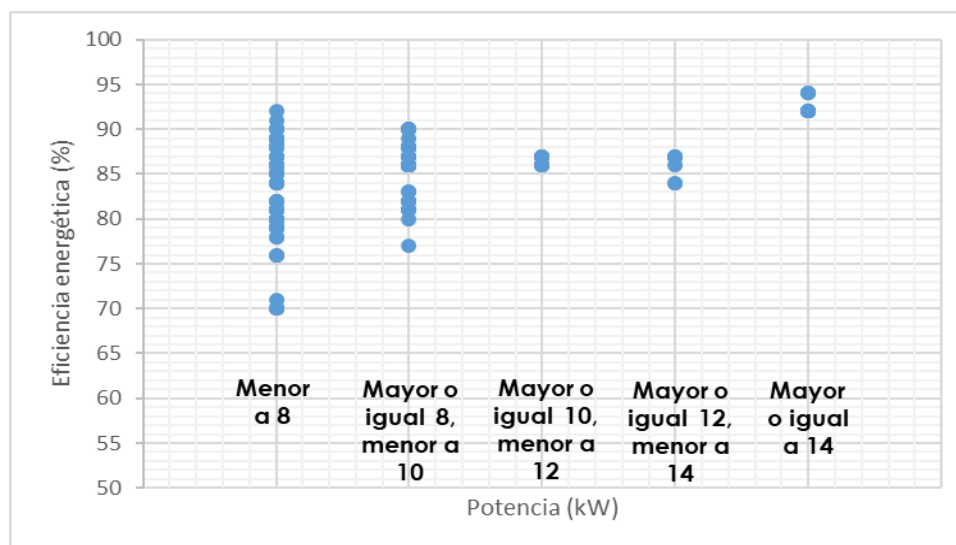
Tabla 37. Intervalos de confianza para emisiones y eficiencia, calefactores a pellet ofrecidos en el mercado nacional

Rango de potencia (kw)	Intervalo de confianza eficiencia energética (%)	Intervalo de confianza emisión particulado (g/h)
Menor a 8 kW	Máximo 92% Media 84,7 % Mínimo aceptable $84,7 - 2,9\% = 81,8\%$	Mínimo 1,2 Media 1,8 Máximo aceptable $1,8 - 0,6 = 1,2$
Mayor o igual a 8 – Menor a 10	Máximo 90% Media 85,7 % Mínimo aceptable $85,7 - 2,9\% = 85,3\%$	Mínimo 1,2 Media 1,9 Máximo aceptable $1,9 - 0,6 = 1,3$
Mayor o igual a 10 – Menor a 12 kW	Máximo 87% Media 86,3 % Mínimo aceptable $86,3 - 2,9\% = 83,4\%$	Mínimo 1,4 Media 1,8 Máximo aceptable $1,8 - 0,6 = 1,2$
Mayor o igual a 12 – Menor a 14 kW	Máximo 87% Media 86,3 % Mínimo aceptable $86,3 - 2,9\% = 83,4\%$	Mínimo 1,2 Media 1,5 Máximo aceptable $1,5 - 0,6 = 0,9$
Mayor o igual a 14	Máximo 94% Media 92,7 % Mínimo aceptable $92,7 - 2,9\% = 89,8\%$	Mínimo 1,4 Media 1,7 Máximo aceptable $1,7 - 0,6 = 1,1$

Fuente: Elaboración propia en base a datos SEC

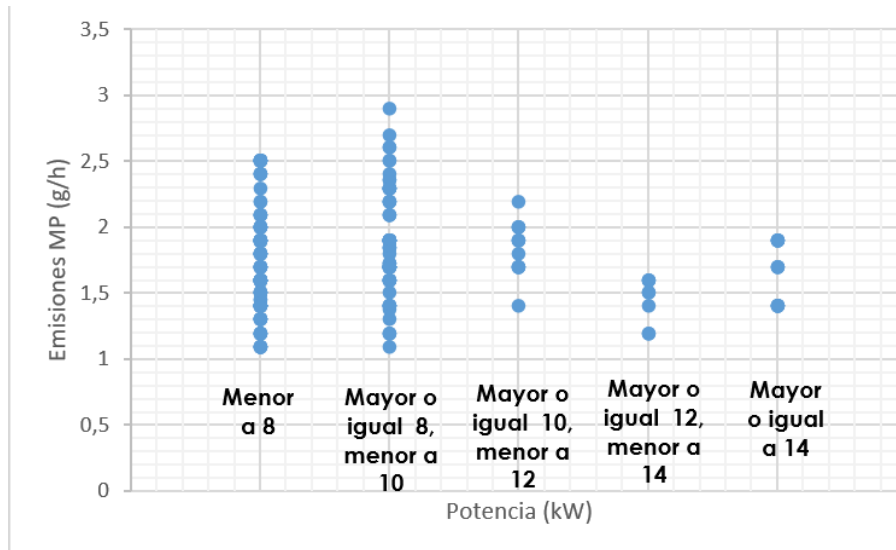
Luego, con el fin de revisar la situación de una manera gráfica, se agregan las figuras siguientes, donde se puede apreciar la eficiencia y las emisiones, en función del rango de potencia del calefactor a pellets:

Figura 22. Eficiencia de calefactores a pellets de madera en función del rango de potencia



Fuente: Elaboración propia en base a datos SEC

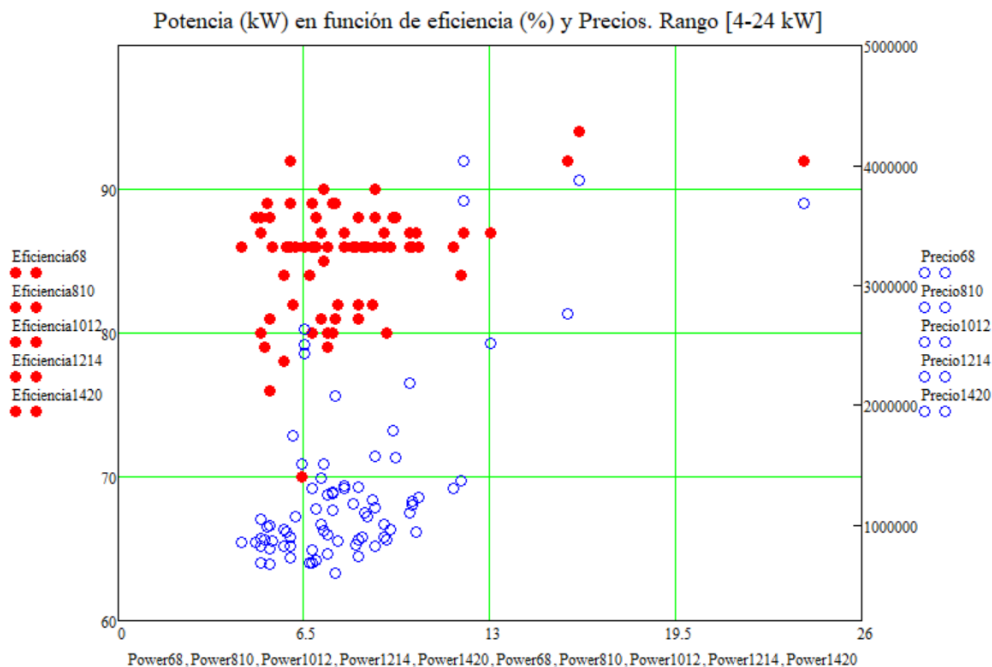
Figura 23. Emisiones de MP de calefactores a pellets de madera en función del rango de potencia



Fuente: Elaboración propia en base a datos SEC

Al igual que en el caso de los calefactores a leña, con el objetivo de tener una mirada global para el comportamiento de las eficiencias y precios en función de todo el rango de potencias, el siguiente gráfico muestra tal comportamiento.

Figura 24. Potencia en función de la eficiencia y precios, calefactores a pellets



Fuente: Elaboración propia

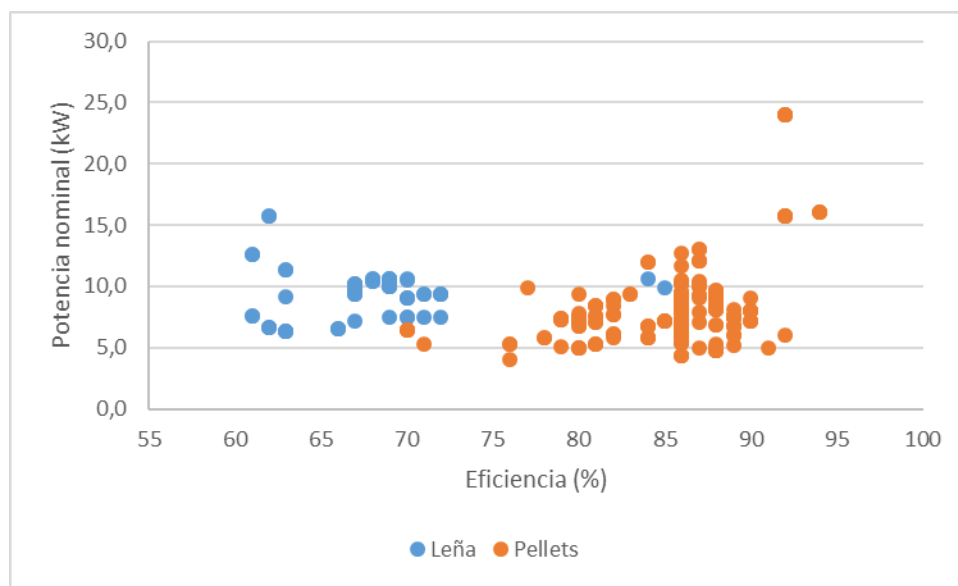
En términos generales se confirma que el mercado establece una correlación directa entre potencia y precio.

2.4.3. ANÁLISIS GLOBAL

Es sabido que la obligatoriedad del etiquetado de eficiencia energética puede significar cambios en las características de los productos, dado que los fabricantes pueden buscar la diferenciación ofreciendo productos con una categoría de eficiencia superior, para lo cual pueden realizar cambios en su línea de producción.

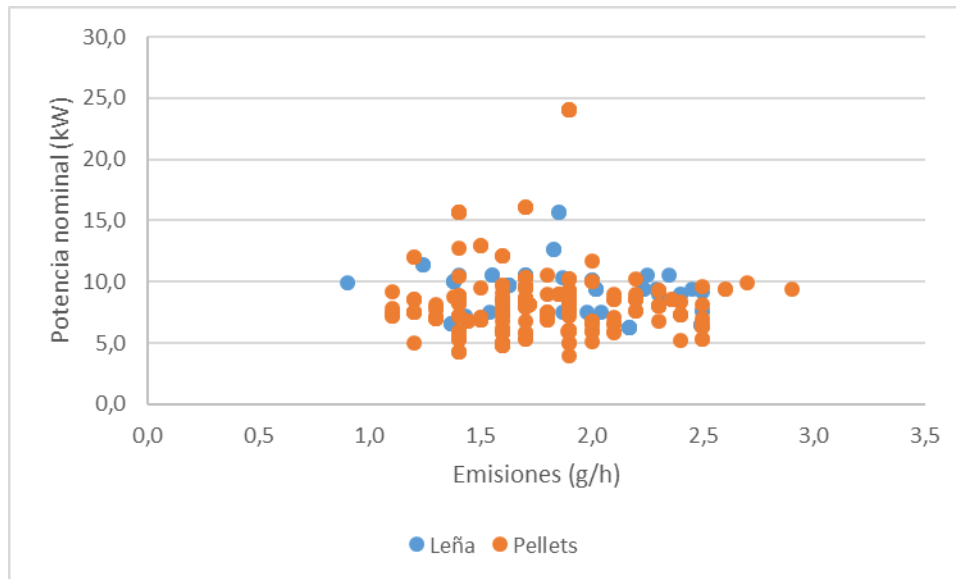
A continuación, se muestran figuras donde se observa la eficiencia, las emisiones de MP y la potencia nominal de calefactores a leña y pellets de madera, cuyas certificaciones se realizaron entre enero de 2017 y julio de 2021, ambos meses incluidos.

Figura 25. Eficiencia vs potencia de calefactores



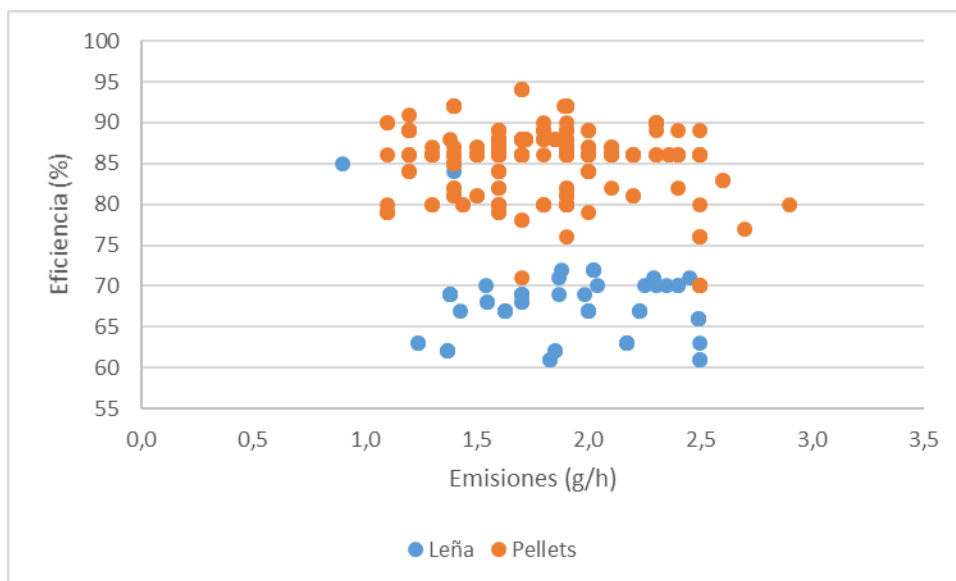
Fuente: Elaborado en base a datos de la SEC

Figura 26. Emisiones de MP2,5 vs potencia de calefactores



Fuente: Elaborado en base a datos de la SEC

Figura 27. Emisiones de MP2,5 vs eficiencia de calefactores



Fuente: Elaborado en base a datos de la SEC

En la Figura 25 se aprecia que los calefactores a pellets de madera tienen eficiencias superiores a los calefactores a leña, y se contabilizan versiones con potencias superiores. En la Figura 26 se aprecia que en lo que se refiere a emisiones, no existen grandes diferencias entre ambos tipos de calefactores, mientras que en la Figura 27 se confirma lo comentado para la Figura 25 y la Figura 26, mostrando que la diferencia principal radica en la eficiencia alcanzada.

En particular, si se analiza el promedio y desviación estándar de emisiones de MP2,5, según año y clase de eficiencia, se aprecia que no hay una tendencia a observar menores

emisiones en clases de eficiencia superior, situación similar para ambos tipos de calefactores, como se aprecia en las tablas siguientes para mediciones obtenidas en ensayos de laboratorio. Es importante mencionar que, en condiciones de operación normales, las emisiones de calefactores a leña pueden verse incrementadas por la acción del operador del calefactor (uso de leña con un porcentaje de humedad mayor al de ensayo, combustión de elementos distintos a leña, ajuste de aire, entre otras), lo que no ocurre en calefactores a pellets de madera, cuya operación es automatizada y, por ende, no presenta grandes variaciones entre laboratorio y operación normal.

Tabla 38. Promedio de emisiones de MP2,5 para calefactores a pellet, en función del año y clase de EE

	A	B	C	D	E
2017	1,56	1,55	1,70	2,50	-
2018	1,73	1,61	-	2,50	-
2019	1,80	1,85	-	2,50	-
2020	1,77	2,08	-	2,50	-
2021	1,79	1,84	-	-	-

Fuente: Elaborado en base a datos de la SEC

Tabla 39. Desviación estándar de emisiones de MP2,5 para calefactores a pellet, en función del año y clase de EE

	A	B	C	D	E
2017	0,26	0,36	-	-	-
2018	0,36	0,28	-	-	-
2019	0,35	0,45	-	-	-
2020	0,27	0,47	-	-	-
2021	0,38	0,42	-	-	-

Fuente: Elaborado en base a datos de la SEC

Tabla 40. Promedio de emisiones de MP2,5 para calefactores a leña, en función del año y clase de EE

	A	B	C	D	E
2014	-	2,15	1,91	-	-
2015	1,10	2,09	1,59	2,22	1,35
2016	-	1,74	1,86	2,15	1,35
2017	-	1,15	1,97	1,88	1,88
2018	-	-	2,16	1,90	2,01
2019	-	-	2,20	2,03	2,19
2020	-	1,80	2,25	1,90	2,20
2021	-	-	2,16	2,02	2,21

Fuente: Elaborado en base a datos de la SEC

Tabla 41. Desviación estándar de emisiones de MP2,5 para calefactores a leña, en función del año y clase de EE

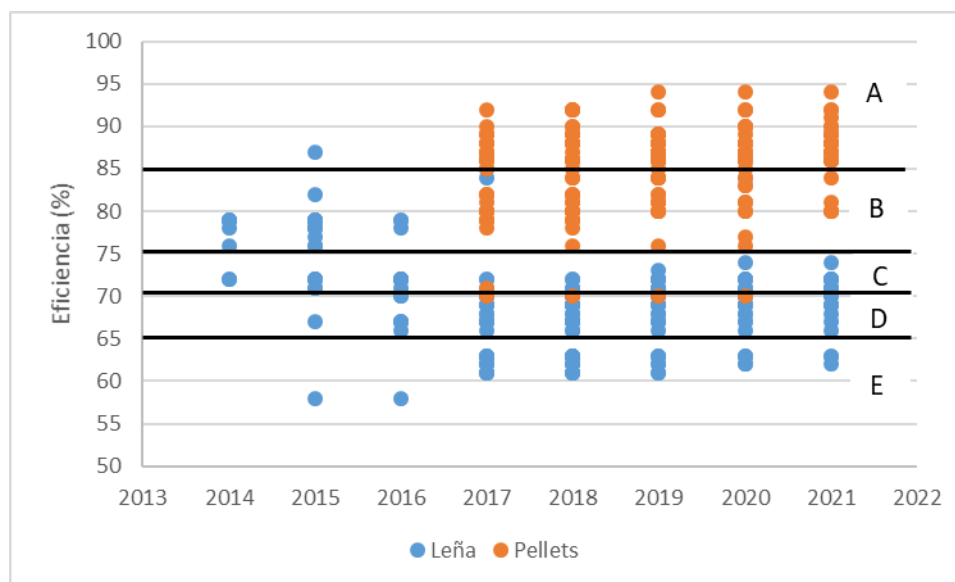
	A	B	C	D	E
2014	-	0,62	0,83	-	-
2015	-	0,60	0,54	-	-
2016	-	0,19	0,88	0,26	-
2017	-	0,35	0,09	0,38	0,47
2018	-	-	0,26	0,38	0,57
2019	-	-	0,25	0,50	0,57
2020	-	-	0,35	0,32	0,65
2021	-	-	0,30	0,30	0,86

Fuente: Elaborado en base a datos de la SEC

Para la definición del campo de aplicación y de clases de productos, es necesario revisar si existe un cambio en las características técnicas de los productos a raíz de la obligatoriedad de etiquetado y de los estándares máximos de emisiones aceptables para los productos.

Respecto de la evolución de la eficiencia de los calefactores a pellets de madera en el tiempo, se aprecia, en la Figura 28, que en 2021 no se registran calefactores con clases de eficiencia C o D, además, la mayoría de los productos son ahora de clase A. Junto con esto, es posible observar un aumento de la eficiencia máxima alcanzada. En lo que se refiere a calefactores a leña, se aprecia un leve aumento en la menor eficiencia, pasando de 58% en 2015 a 62% en 2021. Consultados los fabricantes e importadores respecto de los modelos con categoría A y B de eficiencia energética para calefactores a leña que no se encuentran en el mercado luego de 2017, aclaran que se debe a ajustes realizados al procedimiento de ensayo, lo que significó que modelos que no sufrieron cambios en su fabricación, se certificaran con una eficiencia menor.

Figura 28. Evolución de la eficiencia de calefactores



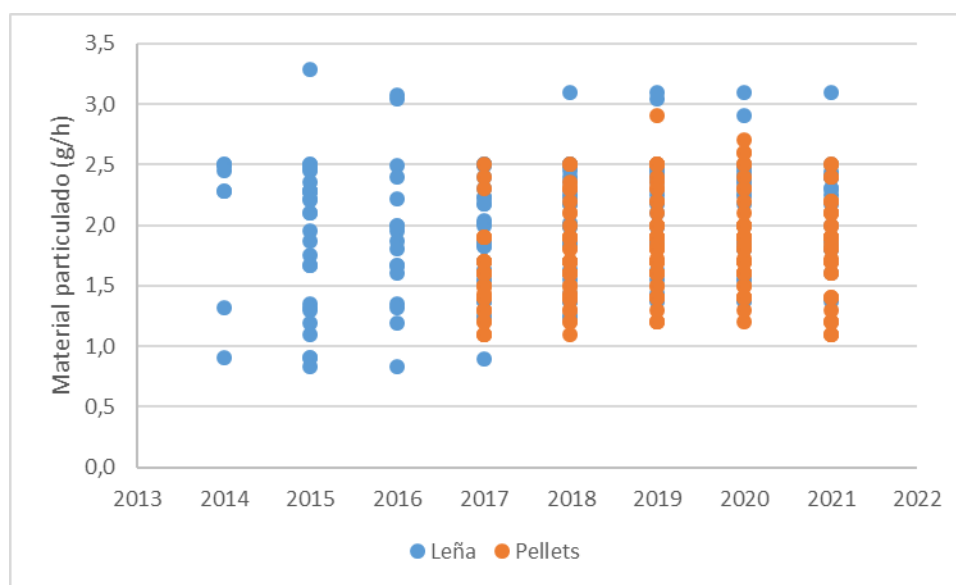
Fuente: Elaborado en base a datos de la SEC

Es importante destacar que la información de 2021 es parcial, dado que contiene las certificaciones entre enero y julio del mismo año, por lo que no puede generarse una conclusión definitiva en base a estos datos.

En la Figura 29 se aprecia la evolución de la emisión de material particulado en el tiempo, pudiendo observarse que las emisiones de los artefactos están por debajo de las exigencias del Decreto 39 de 2011 del Ministerio del Medio Ambiente, verificándose que no sobrepasan los 3,5 g/h, acercándose a los 3 g/h. Además, en todo el periodo éstas se concentran entre 1 y 2,5 g/h.

Junto con lo anterior, es posible mencionar que no se aprecia un mejoramiento en la parte baja, dado que desde 2018 desaparecieron del mercado los modelos con emisiones inferiores a 1 g/h.

Figura 29. Evolución de las emisiones de material particulado en calefactores

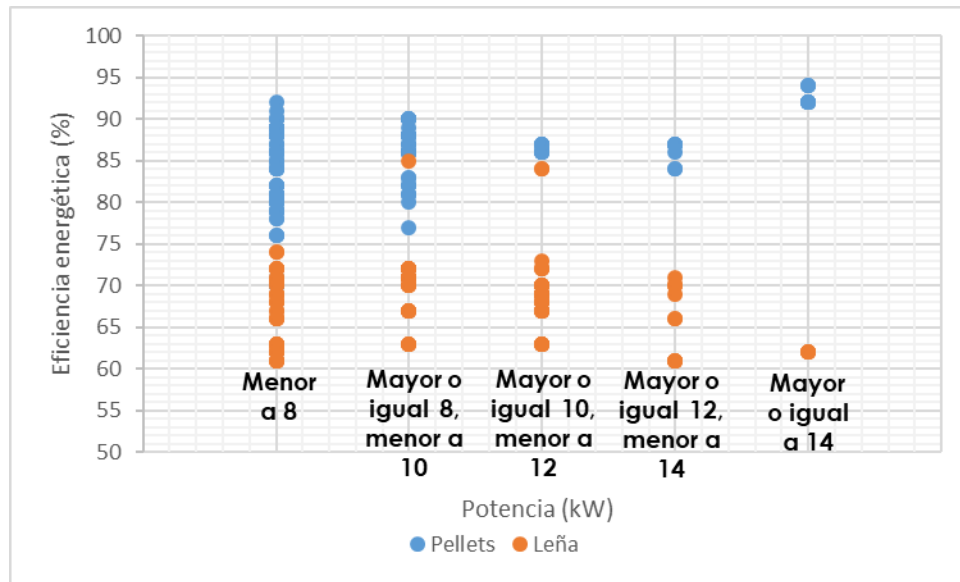


Fuente: Elaborado en base a datos de la SEC

De la observación de los datos de mercado puede concluirse que las exigencias para emisión de material particulado podrían hacerse más estrictas, para movilizar a la baja este parámetro, considerando que en el Decreto 46 del 4 de marzo del 2014 se permite un máximo de 4,5 g/h de MP, lo que es superior en al menos 1 g/h de MP respecto a todos los modelos certificados en Chile.

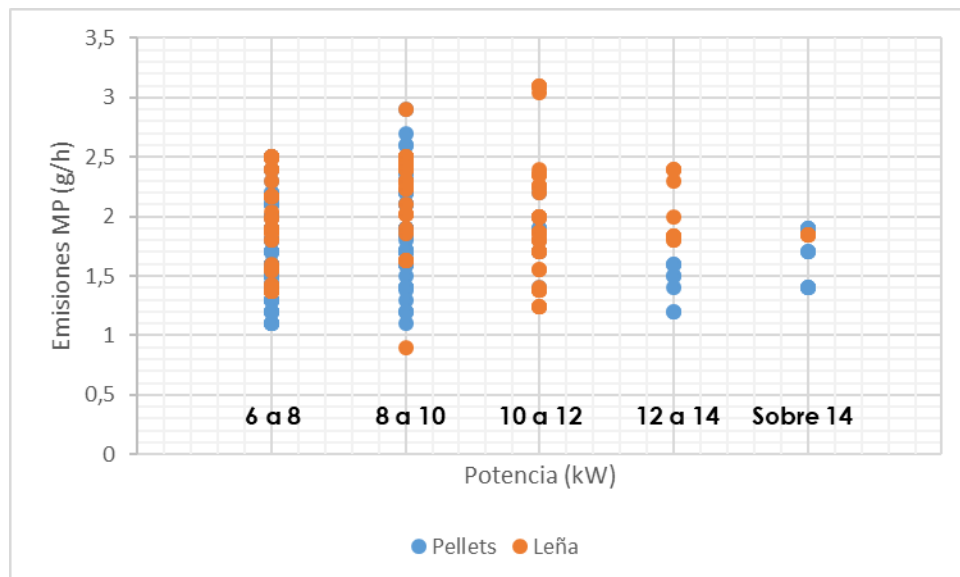
Para complementar el análisis, se grafican las eficiencias y emisiones según rango de potencia. Es importante destacar que, para evitar sesgos, se muestra información de certificaciones desde 2017 en adelante.

Figura 30. Eficiencia de calefactores según rango de potencia



Fuente: Elaboración propia en base a datos SEC

Figura 31. Emisiones de MP de calefactores según rango de potencia



Fuente: Elaboración propia en base a datos SEC

De la observación de la Figura 30 se aprecia una diferenciación clara en las eficiencias de ambos tipo de calefactores, con solo 2 modelos de calefactores a leña que alcanzan las eficiencias de calefactores a pellets. Sin embargo, en la Figura 31 se aprecia que no existe una diferenciación clara en las emisiones de MP entre calefactores a pellets de madera y a leña lo que confirma que no hay una relación clara entre eficiencia y emisiones.

3. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Considerando que Chile se encuentra inmerso en una economía globalizada, y que existen países o economías con un nivel de avance superior en esta materia, resulta necesario revisar la experiencia internacional, con el fin de obtener lecciones que sean aplicables o adaptables a la realidad nacional.

En primer lugar, se procede a revisar la realidad internacional sobre los programas de etiquetado y MEPS, para luego revisar la oferta de calefactores, y los métodos de ensayo utilizados.

Los sistemas de certificaciones para equipos utilizados en calefacción que usan leña, han obligado a establecer requisitos de emisiones ambientales y de eficiencia cuya caracterización requiere de normas de medición.

Chile

En términos nacionales los calefactores a combustibles sólidos deben ser certificados de acuerdo al Protocolo PC-200 (seguridad) y PC-200/1 (eficiencia energética) basados en la norma NCh 3173.Of2009 "Estufas que utilizan combustibles sólidos – Requisitos y Métodos de Ensayo", donde la eficiencia es obtenida mediante un método indirecto donde se determinan las pérdidas energéticas sensible y latente de los humos, además, de las pérdidas térmicas debido a los constituyentes en los residuos del combustible. A nivel internacional, el estándar europeo y Canadá, se asemejan a la realidad nacional desde que utilizan método indirecto para la determinación de la eficiencia.

Para las emisiones de material particulado, el Protocolo PC-200/2 está vigente el cual está basado en los métodos CH-28 "Determinación de Material Particulado y auditoría de calefactores a leña" y CH-5G "Determinación de las emisiones de partículas de calefactores a leña medidas desde un túnel de dilución". Estos métodos no cuentan con repetibilidad ni reproducibilidad informadas, con la consiguiente incertidumbre de los resultados entregados con su aplicación.

3.1. ESTADOS UNIDOS

Estados Unidos es un referente normativo para Chile y el mundo. De ahí la importancia de revisar su situación.

3.1.1. CARACTERÍSTICAS DE PROGRAMAS DE MEPS Y ETIQUETADO DE EE

En 1988 la EPA emitió los *New Source Performance Standards* (NSPS) que gobiernan la fabricación y venta de los calefactores a leña y pellet nuevos. Estos estándares fueron corregidos en 1998 para prohibir la venta de calefactores que tenían revocada su certificación original debido a una prueba inválida de certificación. En el año 2015, la EPA fortaleció la NSPS para lograr la fabricación y venta de calefactores más limpios. En el año 2020, la EPA propuso nuevas modificaciones al NSPS, de manera de permitir a los distribuidores contar con tiempo adicional para vender el inventario existente de calefactores hidrónicos y calderas de tiro forzado. En este mismo proceso del año 2015, emitió un aviso indicando que se buscaba modificar el reglamento y de esta manera buscó obtener comentarios de otros actores para las NSPS publicadas en 2015.

A continuación, se indican algunos de los aspectos principales para calefactores a leña y pellets de madera requeridos por la NSPS:

Calefactores a pellets de madera

En las modificaciones de marzo de 2020 a la NSPS, uno de los puntos más relevantes fue la remoción de ciertos requerimientos que existían sobre los pellets de madera y aclarando requerimientos relacionados al uso de madera verde¹⁴ en la producción de pellets de madera de biomasa. Esta modificación no afecta a las unidades existentes que ya están en uso, ni tampoco reemplaza requerimientos a nivel de estado o local relativos al uso de estos artefactos.

Si bien se retiraron requerimientos para los pellets de madera, se mantiene el requerimiento de que no deben contener ninguno de los combustibles listados en la NSPS del 2015. También indica que:

- Los operadores de calefactores a pellet pueden solo combustionar pellets de madera especificados en el manual del propietario y graduados de acuerdo a una tercera parte aprobada por la EPA.
- Los requerimientos mínimos están ya incluidos en los estándares utilizados por el Instituto de Combustibles de Pellets de madera (Pellet Fuels Institute).

Los requerimientos de los pellets de madera fueron retirados por solicitud de los productores que cuestionaron la necesidad de que la EPA estableciera los requerimientos, en vista de que éstos ya eran impuestos por las terceras partes, que deben graduar los pellets de madera de acuerdo a 40 CFR 60.5474(2)). Estas terceras partes indicaron que los requerimientos impuestos por la EPA sería una barrera para innovar en aspectos que puedan mejorar la operación de los calefactores y disminuir las emisiones.

La mayoría de los calefactores de pellets de madera estaban exentas de las NSPS de la EPA que se publicaron en 1988. Según la norma final de hoy, todos los calefactores de pellets de madera tendrán que cumplir los mismos límites de emisión que los calefactores de leña, en el mismo proceso de dos etapas.

Para reducir los posibles retrasos en la certificación, la EPA permite una certificación condicional de hasta por un año. Para obtener esta certificación condicional, los fabricantes deben presentar una solicitud de certificación completa que incluya un informe de pruebas de emisiones completo de un laboratorio acreditado por la EPA y que cumpla otros requisitos de la solicitud. Transcurrido un año, deberán utilizarse laboratorios y organismos de certificación acreditados internacionalmente para las pruebas y la certificación. La EPA también revisará las pruebas y pondrá los resultados a disposición de los consumidores en un sitio web.

Calefactores a leña

Los calefactores de leña que se vendan en Estados Unidos deberán llevar una etiqueta permanente que indique que están certificadas por la EPA para cumplir los límites de emisiones de la norma final. Esta etiqueta indicará a los consumidores que la estufa cumple las normas de la EPA.

Cada línea de modelos sujeta a la normativa deberá demostrar su cumplimiento mediante pruebas de rendimiento, de forma similar a los requisitos de la normativa sobre estufas de

¹⁴ Se refiere a la madera que no ha pasado por el proceso de secado.

leña de 1988. Los fabricantes hacen que un laboratorio acreditado pruebe un aparato representativo para demostrar la conformidad de toda la línea de modelos. Este enfoque minimiza los costos de las pruebas para los fabricantes.

La norma final también incluye métodos de prueba que los fabricantes tendrán que utilizar para determinar las emisiones de MP y demostrar el cumplimiento de cada límite de emisiones de la norma. Basándose en los comentarios del público sobre la norma propuesta y en una revisión adicional, la EPA determinó que la agencia no dispone todavía de datos suficientes para exigir que los calefactores de leña se prueben utilizando cordwood en este momento. En su lugar, se exigirá a los fabricantes que prueben las emisiones utilizando fuegos que quemen madera ensamblada en configuraciones estandarizadas conocidas como "cribwood" - el mismo tipo de pruebas utilizadas para las normas de estufas de leña de 1988.

La EPA cree que las pruebas de emisiones con cordwood son importantes, porque presentan una imagen más realista de las emisiones de los calefactores de leña en su uso cotidiano. La agencia permitirá a los fabricantes realizar pruebas de emisiones con cordwood, tanto para los límites de emisiones de 2015 (Fase 1) como para los de 2020 (Fase 2). Los fabricantes que decidan realizar las pruebas con cordwood deberán contar con la aprobación de la EPA para el método de prueba.

Figura 32. Tipos de configuración de la leña para la realización de pruebas, indicados por EPA



Fuente: NESCAUM¹⁵

Además, para fomentar un mayor desarrollo de los métodos de ensayo con cordwood, la EPA incluye un límite de emisiones alternativo en la fase 2 basado en los ensayos con cordwood. Los fabricantes pueden realizar las pruebas con crib o cordwood en el Paso 2, y deben cumplir el límite correspondiente al tipo de prueba que elijan. Los fabricantes que realicen pruebas con cordwood para el Paso 1 deben cumplir el mismo límite de emisiones que los que realicen pruebas con cribwood.

Cualquier fabricante que pruebe los calefactores de leña utilizando cordwood podrá utilizar una etiqueta especial de la EPA que reconocerá que las emisiones de las pruebas

15 <https://www.nescaum.org/documents/march-2018-residential-wood-heating-workshop/cribwood-to-cordwood.pdf/>

con cordwood reflejan más fielmente las emisiones probables del uso en el hogar. El uso de esta etiqueta es voluntario.

Así, los pasos y los límites para los calefactores a leña y a pellets de madera se resumen en la Tabla 42

Tabla 42. Límites de emisión para nuevas estufas a leña o pellets de madera

Paso	Límite MP	Límite para cumplimiento
1: Para todos los calefactores sin certificación EPA vigente	4,5 g/h de funcionamiento para estufas catalíticas y no catalíticas El límite es para las pruebas con cribwood. Si se prueba con cordwood, el método de prueba de emisiones debe ser aprobado, y los calefactores deben cumplir con el límite de cribwood.	60 días después de la publicación de la norma definitiva en el Registro Federal.
2: Todos los calefactores de leña y de pellets de madera	2,0 g/h para los calefactores catalíticas y no catalíticas, si las emisiones se comprueban utilizando cribwood. Límite alternativo: 2,5 gramos por hora, si se comprueba con cordwood; el método debe ser aprobado	5 años después de la fecha de entrada en vigor de la norma final. (15 de mayo 2020)

Fuente: EPA programa Burnwise

Los calefactores de leña de una sola etapa de combustión (que anteriormente no estaban sujetas a los requisitos de la EPA) están diseñadas para que el propietario no pueda ajustar el flujo de aire. Los calefactores de una única etapa de combustión tendrán que cumplir los mismos límites de emisión que los calefactores de combustión regulable, en los mismos dos pasos.

En cuanto a eficiencia en el consumo de energía, la EPA cuenta con un programa voluntario de etiquetado. El programa voluntario de etiquetas para los dispositivos de combustión de leña está diseñado para ofrecer un incentivo a los fabricantes para que cumplan de manera temprana las normas federales de 2020 y, por tanto, acelerar la reducción de emisiones y proteger la salud pública antes de lo que exige la normativa federal. Los modelos son probados por un laboratorio aprobado por la EPA, tal y como se especifica en la NSPS de 2015, y la EPA verifica que los resultados de las pruebas cumplen con los niveles requeridos.

ETIQUETADO VOLUNTARIO

La NSPS 2015 estableció un etiquetado voluntario para aquellos artefactos que cumplieran con los requerimientos que se harían efectivos el año 2020, el cual aplica para las siguientes categorías:

- Calefactores de leña que cumplen las normas de emisión de material particulado de 2020 de manera adelantada cuando se testean con crib wood, cord wood o pellets de madera. Esta opción de etiqueta temporal terminó el 15 de mayo de 2020. Para poder mostrar la etiqueta voluntaria, los modelos certificados debían cumplir con las siguientes normas de emisión:

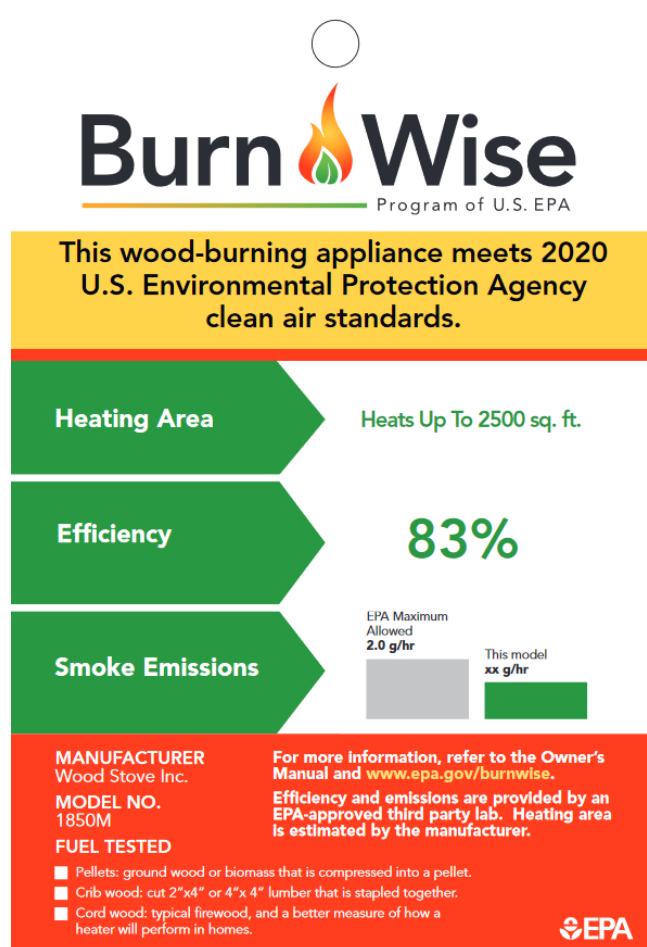
- Calefactores de leña y pellets de madera: 2,0 g/hora
- Calefactores hidrónicos: 0,10 lbs/mmBtu para cada tasa de combustión
- Calderas de aire forzado: 0,15 lbs/mmBtu para cada tasa de combustión
- Calefactores de leña que cumplen con la opción de cumplimiento de la alternativa de cordwood de 2020. Para poder mostrar la etiqueta, los modelos certificados debían cumplir las normas de emisiones que se indican a continuación:
 - Calefactores de leña y pellets de madera: 2,5 g/hora
 - Calentadores hidrónicos: 0,15 lbs/mmBtu para cada tasa de combustión
 - Calderas de aire forzado: no disponible porque estos aparatos ya se someten a pruebas en cordwood (CSA B415.1-10).

En la etiqueta, el fabricante tenía la responsabilidad de proporcionar los valores de emisiones, eficiencia, superficie de calefacción recomendada, empresa, modelo y tipo de combustible del informe de pruebas presentado a la EPA por un laboratorio acreditado por la EPA.

Los conceptos que aparecieron en las etiquetas daban cuenta de lo siguiente:

- **Eficiencia:** Eficiencia media ponderada calculada utilizando el poder calorífico superior del combustible (PCS), ensayado según el método CSA B415.1-10. Se obtiene del informe de prueba presentado a la EPA por un laboratorio acreditado por la EPA. No se acepta la eficiencia del valor calorífico inferior (PCI) ni otras medidas de eficiencia.
- **Emisiones de humo:** Promedio ponderado de las emisiones de partículas (en gramos por hora para los calefactores de leña/pellet, o libras por millón de Btu de tasa de combustión para cada categoría de quemado para los calentadores hidrónicos y calderas de aire forzado).
- **Área de calefacción:** El tamaño del área que el aparato puede calentar según lo especificado en el manual del propietario.
- **Combustible probado:** Pellets de madera: madera triturada o biomasa comprimida para formar pellets de madera; cribwood: madera apilada dimensionada de '2 x 4' o '4 x 4'; cordwood: leña típica utilizada en los hogares. Se considera una mejor medida de cómo funcionará un calentador en entornos residenciales.

Figura 33. Etiqueta voluntaria EPA



Fuente: Programa Burnwise EPA

3.1.2. OFERTA DE MERCADO

Una revisión de hitos importantes en el uso de biomasa, para efectos de calefacción se presentan a continuación¹⁶ de acuerdo a la Alliance for Green Heat.

- 1906: La Asociación Nacional de Protección contra Incendios desarrolla por primera vez estándares para espacios libres entre estufas de leña y paredes, pisos y techos combustibles.
- 1940: el 22,7% de los hogares en los EE.UU. utilizan madera como fuente de calor principal.
- 1973: Se inventa la estufa de pellets de madera en el estado de Washington, pero la producción no comienza hasta principios de la década de 1980.

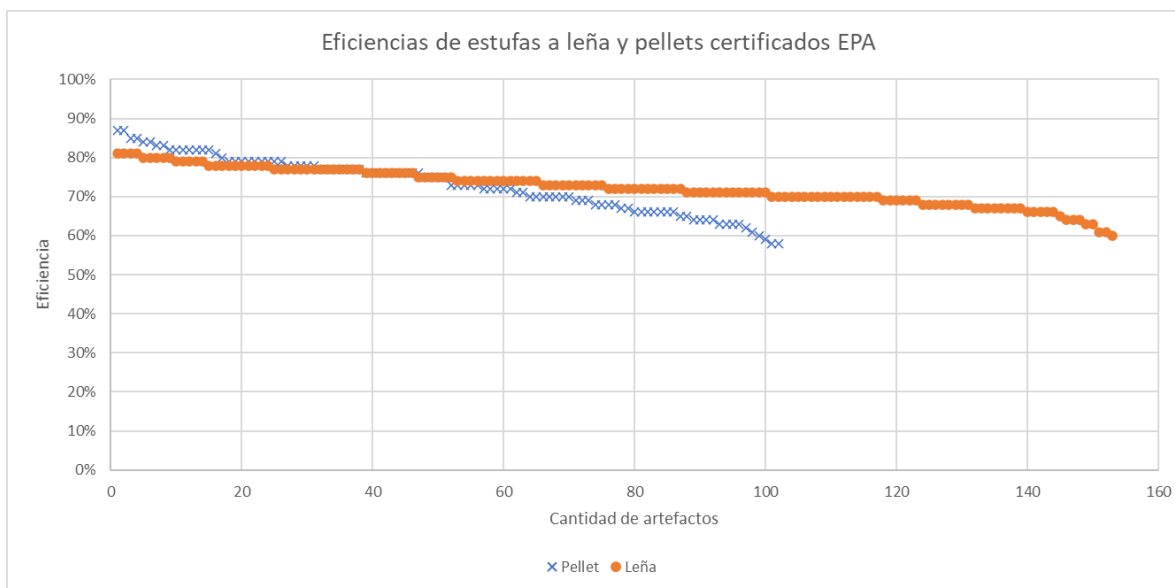
¹⁶ <http://www.forgreenheat.org/resources/history.html>

- 1974: Despertar de la quema de madera en los Estados Unidos tras la crisis del petróleo.
- 1976: Se formó el Wood Energy Institute (WEI) y celebró su primera reunión en Howard Johnsona en Cambridge, MA.
- 1979: El accidente nuclear de Three Mile Island hace que las ventas de estufas de leña vuelvan a subir drásticamente.
- 1980: el 55% de todas las extracciones de madera en los EE.UU. se consumieron con fines combustibles (tanto industriales como residenciales)
- 1980: Se formó Wood Heating Alliance, el predecesor de la HPBA.
- 1982: Las ventas de estufas de leña aumentan a más de 1,5 millones por año y aproximadamente 450 fabricantes de estufas de leña surgen en los EE.UU.
- 1983: Se introduce la primera estufa de pellets de madera residencial en el mercado estadounidense.
- 1983: La Comisión de Seguridad de Productos para el Consumidor requiere que los fabricantes de estufas proporcionen una etiqueta relacionada con la seguridad.
- 1986: Oregón prohíbe la venta de los calefactores más contaminantes y otros estados comienzan a hacer lo mismo.
- 1986: NRDC y el estado de Nueva York amenazan con demandar a la EPA por no mantener el aire del país libre de humo de leña.
- 1988: Se hacen cumplir los estándares de emisiones de la Fase I de la EPA, que requieren que los calefactores se fabriquen para emitir menos de 8,5 gramos por hora. (316 modelos pasan revisiones técnicas)
- 1990: Se hacen cumplir los estándares de emisiones de la Fase II de la EPA, que requieren que los calefactores se fabriquen para emitir menos de 7,5 gramos por hora. (134 modelos pasan la prueba)
- Década de 1990: después de las normas de la EPA, cierran cientos de fabricantes de estufas de leña. De los aproximadamente 500 fabricantes antes de la regulación de la EPA, solo quedaban unos 100.
- 1991: La Guerra del Golfo provoca otra crisis petrolera y los calefactores de leña vuelven a ser populares.
- 1992: Todos los calefactores nuevos vendidos deben cumplir con los estándares de la Fase II. De un máximo de aproximadamente 450, solo quedan alrededor de 50 fabricantes de estufas que logran la certificación de sus productos por la EPA.
- 1993: Los calefactores catalíticos se volvieron muy populares durante el período inicial de aplicación de las normas de la EPA, pero la insatisfacción del cliente rápidamente puso freno a eso y estimuló diseños más limpios de estufas no catalíticas.
- 1993: Se establece el Pellet Fuels Institute (PFI).
- 1995: El estado de Washington requiere que todos los calefactores vendidos en el estado no emitan más de 4,5 gramos por hora.

- 2006: La madera es el sexto proveedor de energía en los EE.UU. (detrás del petróleo, carbón, gas natural, energía nuclear e hidroeléctrica)
- 2009: La administración Obama promulga el primer crédito fiscal nacional sustancial para estufas de leña y pellets de madera residenciales (30% hasta \$ 1.500).
- 2009: Oregón es el primer estado de los EE.UU. que exige que se retire una estufa de leña vieja y no certificada al vender una casa.
- 2009: Los funcionarios de la EPA recomiendan formalmente una revisión de los Estándares de Rendimiento de Nuevas Fuentes (NSPS) para reevaluar si los estándares nacionales de emisiones deben ser más estrictos y si se deben regular otros tipos de electrodomésticos, como chimeneas, calderas de leña para exteriores, estufas de pellets de madera, estufas de carbón, etc. y estufas de alta relación aire-combustible.
- 2010: New Hampshire es la primera jurisdicción en los EE.UU. en iniciar un programa de incentivos para el tipo de calderas de pellets de madera automáticas alimentadas a granel que han recibido incentivos gubernamentales en muchos países europeos.
- 2014: El 3 de enero, la EPA publica las nuevas regulaciones propuestas para los calefactores a leña.
- 2015: El 15 de mayo, las nuevas regulaciones de la EPA sobre calefactores a leña entran en vigencia para las nuevas estufas de leña y de pellets de madera y calentadores hidrónicos.
- 2019: El Departamento de Energía comenzó a financiar la investigación y el desarrollo de calentadores de madera residenciales por primera vez. Dos empresas obtuvieron USD\$3 millones en subvenciones para diseñar estufas de leña automatizadas.
- 2020: Las regulaciones más estrictas de la EPA de 2 gramos por hora (o 2,5 si se prueba con leña) entraron en vigencia el 15 de mayo, reduciendo el número de modelos de estufas certificadas a menos de la mitad, de aproximadamente 550 a 230 quedando como equipos más limpios y más eficientes.

De acuerdo a la base de datos de la EPA de los productos certificados, las siguientes son las eficiencias obtenidas:

Figura 34. Eficiencias certificadas para estufas a leña y pellets de madera



Fuente: Registro de calefactores certificados EPA¹⁷

Los equipos con mayores eficiencias corresponden a estufas de pellets de madera, con resultados de hasta un 87%. La mejor estufa de leña tiene una eficiencia de 81% y se trata de tres modelos híbridos (K-180 Series Aspen LE, Tamarack LE, Aberdeen LE, and Alpine LE). Según la ficha técnica de estos productos, el modelo híbrido cuenta con un bypass que permite que parte de los gases de combustión no pasen por el catalizador durante la partida. En base a la figura anterior, también se puede definir que los calefactores de pellets de madera presentan una mayor variación en los resultados de los rendimientos, que van entre 87 y 58%, mientras que los calefactores de leña presentan un rango levemente más acotado, entre 81 y 60%

A continuación, se muestra una tabla con los rendimientos más elevados de los artefactos certificados y sus emisiones de los calefactores mejor evaluadas, de acuerdo al estándar CSA B415.1-10:

Tabla 43. Calefactores certificados por la EPA, mejores eficiencias

Modelo	Fabricante	Tipo	Sub-tipo	Emisión (g/h)	Potencia calorífica superior (kW)	Potencia calorífica inferior (kW)	Eficiencia (%)
PS20W (MINI 2 PCS)	Enerco Group, Inc.	Estufa pellet	Estufa no catalítica	0,77	6,2	2,7	87
V5.2	Extraflame S. P. A.	Estufa pellet	Estufa no catalítica	0,59	13,2	4,7	87
Rafael 55a, Europa 75a	Paromax International LLC	Estufa pellet	Estufa no catalítica	0,22	7,6	2,3	85

¹⁷ <https://cfpub.epa.gov/oarweb/woodsrove/index.cfm?fuseaction=app.search>

Modelo	Fabricante	Tipo	Sub-tipo	Emisión (g/h)	Potencia calorífica superior (kW)	Potencia calorífica inferior (kW)	Eficiencia (%)
V3.4	Extraflame S. P. A.	Estufa pellet	Estufa no catalítica	1,1	8,3	3,0	85
ComfortBit HP54	SMG Hearth and Home, LLC	Estufa pellet	Estufa no catalítica	1,5	13,0	5,5	84
LIA, LISA	Gruppo Piazzetta S.P.A.	Estufa pellet	Estufa no catalítica	0,7	9,4	2,6	84
HP 61	SMG Hearth and Home, LLC	Estufa pellet	Estufa no catalítica	1,2	12,4	6,3	83
PelPro PP70	Hearth and Home Technologies	Estufa pellet	Estufa no catalítica	0,5	10,3	2,8	83
Monia 2.0, Marcella 2.0, Maya 2.0, Monica 2.0	Gruppo Piazzetta S.P.A.	Estufa pellet	Estufa no catalítica	0,82	9,0	3,1	82
Sabrina 2.0, Sally 2.0, Solange 2.0, Sveva 2.0	Gruppo Piazzetta S.P.A.	Estufa pellet	Estufa no catalítica	1,15	10,9	3,5	82
PS60W	Enerco Group, Inc.	Estufa pellet	Estufa no catalítica	0,99	7,9	2,7	82
PSBF66W	Enerco Group, Inc.	Estufa pellet	Estufa no catalítica	1,2	11,8	2,2	82
PelPro PP130-B	Hearth and Home Technologies	Estufa pellet	Estufa no catalítica	0,53	11,9	2,8	82
PelPro PPC90, PelPro TSC90, and Pleasant Hearth PHC90	Hearth and Home Technologies	Estufa pellet	Estufa no catalítica	1,1	13,9	3,2	82
V4.5	Extraflame S. P. A.	Estufa pellet	Estufa no catalítica	0,93	10,9	3,7	82
K-180 Series Aspen LE, Tamarack LE, Aberdeen LE, and Alpine LE	Kuma Stove And Iron Works	Estufa leña	Híbrido	0,72	9,4	3,1	81
King KE40	Blaze King Industries, Inc.	Estufa leña	Estufa catalítica	1,1	10,3	3,4	81

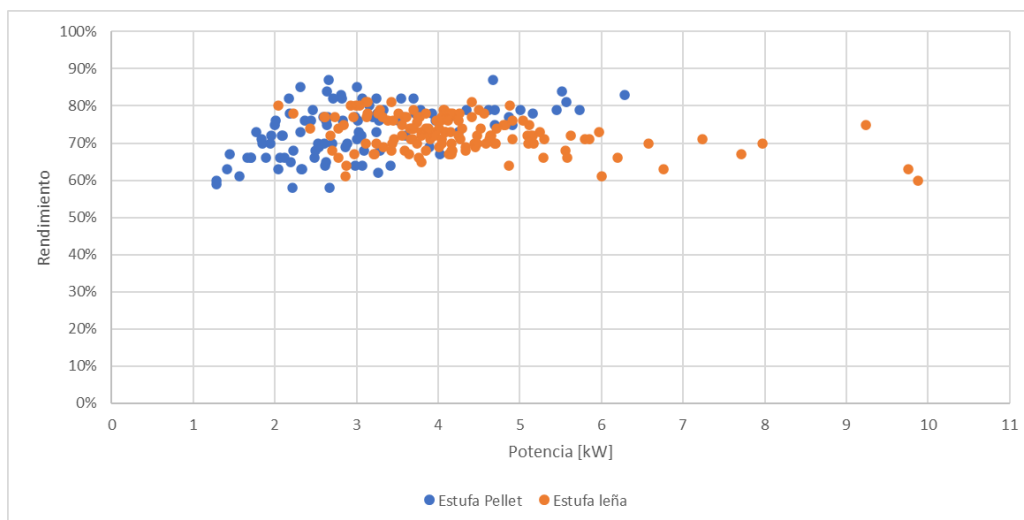
Modelo	Fabricante	Tipo	Sub-tipo	Emisión (g/h)	Potencia calorífica superior (kW)	Potencia calorífica inferior (kW)	Eficiencia (%)
ComfortBilt HP55	SMG Hearth and Home, LLC	Estufa pellet	Estufa no catalítica	1,2	10,5	5,6	81
F3500	FPI/Regency Fireplace Products	Estufa leña	Estufa catalítica	0,9	10,6	3,1	81
Green Mountain 80 8680	Hearthstone Quality Home Heating Products Inc.	Estufa leña	Híbrido	0,67	9,8	4,4	81
202 Palladian, 204 Keystone	Woodstock Soapstone Company, Inc.	Estufa leña	Estufa catalítica	0,85	13,6	2,9	80
Model 91	New Buck Corporation (Buck Stove Corp.)	Estufa leña	Estufa catalítica	1,9	18,4	3,0	80
2B Standard 2020	Morso Jernstoberi A/S	Estufa leña	Estufa no catalítica	0,55	7,4	2,0	80
F5200	FPI/Regency Fireplace Products	Estufa leña	Estufa catalítica	0,9	13,8	4,9	80
Princess PE32	Blaze King Industries, Inc.	Estufa leña	Estufa catalítica	0,4	6,2	2,7	80

Fuente: Registro calefactores EPA¹⁸

Como se puede apreciar al observar la Figura 35, no se encuentra una correlación que permita definir la influencia entre el tamaño de los calefactores y su eficiencia.

¹⁸ <https://cfpub.epa.gov/oarweb/woodsrove/index.cfm?fuseaction=app.search>

Figura 35. Eficiencia de los calefactores certificados por EPA según su potencia



Fuente: Elaboración propia en base a datos de calefactores certificados

3.1.3. METODOLOGÍA DE ENSAYO

Las pruebas de calefactores a leña se realizaban de acuerdo a los requisitos del “*Method 28 - Certification and Auditing - Wood Heaters*”, de la EPA de EE.UU.¹⁹. Este método aplicaba tanto para calefactores a leña como para calefactores a pellets de madera.

Las líneas de modelos de estufas certificadas cumplen con los “*2015 Standards of Performance for New Residential Wood Heaters, New Residential Hydronic Heaters and Forced-Air Furnaces, Subpart AAA*”²⁰.

El Método 28 de la EPA estableció procedimientos estándar para medir las emisiones de MP de un calefactor, mediante la quema de un contenedor de prueba previamente preparado. Se utiliza pino oregón escuadrada secada al aire con un contenido de humedad del 16% al 20% en peso. La carga de combustible depende del volumen de la cámara de combustión y de la densidad de combustible, que se define en $112 \pm 11 \text{ kg / m}^3$. Las dimensiones y la ubicación del combustible de prueba se determinan de acuerdo con el volumen de combustión de la cámara. El largo de las piezas es 5/6 del largo de la cámara de combustión.

El ensayo se realiza con cuatro categorías de tasa de quemado, según se muestra a continuación:

Tabla 44. Categorías de tasa de quemado en kg/h

Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4
< 0,8	0,8 a 1,25	1,25 a 1,9	Máximo

Fuente: EPA programa Burnwise

¹⁹ https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-08/documents/method_28.pdf

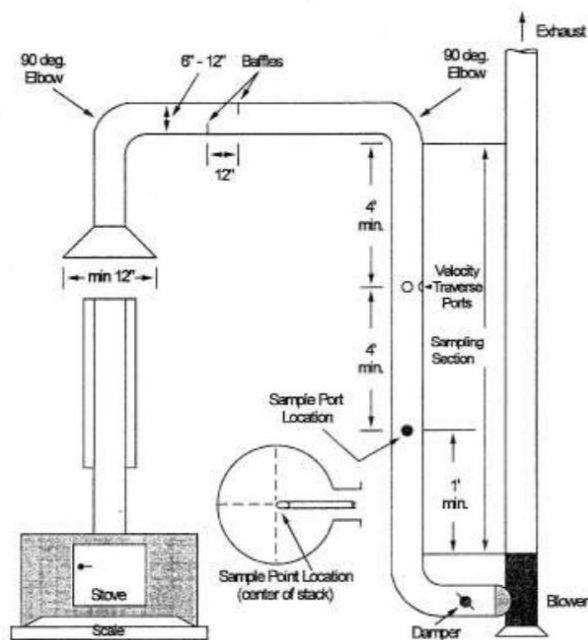
²⁰ Este estándar fue modificado el año 2020, donde se eliminan algunos requerimientos de especificaciones del combustible pellet con respecto a la densidad, tamaño y contenido.

En cuanto a la metodología de ensayo, para los calefactores a pellets de madera los procedimientos y los requerimientos se establecen en el método 28 y son similares en los calefactores de leña. Se destacan las siguientes diferencias:

- **Propiedades del combustible de prueba:** pellets de madera con un contenido de humedad no mayor a un 20% base húmeda (25% base seca). El contenido de humedad se determina con:
 - ASTM D 2016–74 o 83, (Method A)
 - ASTM D 4444–92
 - ASTM D 4442–84 or 92
- La **carga del combustible** se realiza de acuerdo a las instrucciones del fabricante para mantener la tasa de quemado deseada.
- No se necesita determinar el volumen de la cámara de combustión para determinar el tamaño de la carga del combustible.

Tanto para pellets de madera como para leña, las emisiones de material particulado se determinaban en los gases de combustión calientes y no diluidos según el método 5H ó 5G de la US EPA en los gases de combustión fríos y diluidos, lo que aplicó hasta 2015 según el esquema mostrado en la Figura 36. La **determinación de la eficiencia no es obligatoria**.

Figura 36. Esquema de método para determinar emisiones de MP, EPA



Fuente: (IEA Bioenergy, 2018)

- **Método 5G:** El método 5G de la EPA, "Determination of Particulate Matter Emissions from Wood Heaters (Dilution Tunnel Sampling Location)"²¹, se utiliza para determinar los índices de emisión de MP. En este método, los gases de combustión de un calefactor se recogen con una campana y se mezclan con aire de dilución ambiental para imitar el enfriamiento y la condensación atmosféricos previstos. El material particulado se extrae proporcionalmente desde un único punto en un túnel de muestreo y se recoge en dos filtros de fibra de vidrio en serie. Los filtros se mantienen a una temperatura no superior a 32°C. La masa del material particulado se determina gravimétricamente tras la eliminación del agua no combinada.
- **Método 5H:** El método 5H de la EPA, "Determination of particulate matter emissions from wood heaters from a stack location"²², es un método alternativo utilizado para determinar las concentraciones de emisiones de MP. Según este método, las emisiones de PM se extraen proporcionalmente de los gases de combustión del calefactor y se recogen en dos filtros de fibra de vidrio separados. El primer filtro se mantiene a una temperatura no superior a 120°C. El segundo filtro se enfría de manera que la temperatura del gas que sale del segundo filtro no sea superior a 20°C para incluir las partículas condensables.

Como resultado de la prueba se calcula la tasa media de emisión de MP (g/h). Relacionando la tasa de emisión media con la masa de combustible consumida, se determina el factor de emisión de PM.

A continuación, se muestran los distintos estándares asociadas a los métodos de ensayo requeridos para las certificaciones de la EPA.

Tabla 45. Estándares asociados al ensayo de calefactores de pellets de madera y leña en EE.UU.

Método	Nombre / tema	Aplica a
EPA method 1	Sample and Velocity Traverses for Stationary Source	General. Se requiere su conocimiento para el método 28R.
EPA method 2	Determination of Stack Gas Velocity and Volumetric Flow Rate (Type S Pitot Tube)	
EPA method 3	Gas analysis for the determination of dry molecular Weight	
EPA method 4	Determination of moisture content in stack gases	
EPA method 5	Particulate Matter - Stationary Sources	
EPA method 5G	Particulate Matter Wood Heaters from a Dilution Tunnel	
EPA method 5H	Particulate Matter Wood Heaters from a Stack	
EPA method 6	Sulfur Dioxide - Stationary Sources	
EPA method 6C	Sulfur Dioxide - Instrumental Analyzer Procedure	
EPA method 16A	Total Reduced Sulfur - Impinger	
EPA method 28	Certification and Auditing - Wood Heaters.	Desarrollada para la versión 1988 de la NSPS. Posteriormente fue revisada (EPA Method 28R).

21 https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-08/documents/method_5g.pdf

22 <https://www.epa.gov/sites/default/files/2013-12/documents/m-05h.pdf>

Método	Nombre / tema	Aplica a
		Aplica para calefactores a leña o pellet, de una o más etapas.
EPA method 28A	Measurement of air-to-fuel ratio and minimum achievable burn rates for wood-fired appliances	
EPA method 28R	Certification and auditing of wood heaters	Este método cubre las operaciones para medir las emisiones de MP. Incorpora las previsiones de ASTM E2780-10. Aplica a calefactores catalíticos y no catalíticos, con quemador ajustable. Calefactores de leña y chimeneas insertable.
Method 28WHH	Measurement of Particulate Emissions and Heating Efficiency of Wood-Fired Hydronic Heating Appliances	Calefactores hidrónicos de interior o exterior, presurizados o no presurizados.
Method 28WHH PTS	A Test Method for Certification of Cord Wood-Fired Hydronic Heating Appliances with Partial Thermal Storage	Calefactores hidrónicos de interior o exterior, presurizados o no presurizados, con almacenamiento térmico.
ASTM E2779-10	Standard Test Method for Determining Particulate Matter Emissions from Pellet Heaters	Se incorpora a modo de referencia en Method 28R para los calefactores a Pellet.
ASTM E871-82	Standard test method for moisture analysis of particulate wood filters	Determinación de la humedad base para un material leñoso particulado. Se incorpora como referencia en el NSPS como una alternativa a los métodos 5H y 28.
ASTM E2780 - 10	Standard Test Method for Determining Particulate Matter Emissions from Wood Heaters	Se incorpora como referencia en el método 28R, aunque se deben mantener el encendido, las categorías de las etapas de quemado y las ponderaciones del método 28.
Pellets de madera fuel institute Standard specifications for residential / commercial densified fuel	Pellet Fuels Institute Standard Specification for Residential / Commercial Densified Fel	Especificaciones para los pellets de madera utilizados.
ASTM D 4444-92	Standard Test Methods for Use and Calibration of Hand-Held Moisture Meters	Determinación del contenido de humedad en el combustible utilizado. Mencionado a modo de referencia en el método 28 de la EPA para determinar las propiedades del combustible
ASTM D 4442-84 or 92	Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials	Determinación del contenido de humedad en el combustible utilizado. Mencionado a modo de referencia en el método 28 de la EPA para determinar las propiedades del combustible

Método	Nombre / tema	Aplica a
ASTM E2515-11	Standard Test Method for Determination of Particulate Matter Emissions Collected in a Dilution Tunnel	Determinación del material particulado en un túnel de dilución.
CSA B415.1	Performance Testing of Solid-Fuel-Burning Heating Appliances	Este estándar define la determinación del poder calorífico, medición de emisiones y de la eficiencia. En el caso de Estados Unidos, se utiliza como método alternativo para determinar la eficiencia, aunque su requerimiento no es obligatorio. Cuando no es utilizado, se considera por defecto una eficiencia de 63% para calefactores de leña no catalíticos, 72% para calefactores de leña catalíticos y 78% para calefactores a pellet

Fuente: Elaboración propia

Luego, la EPA promulgó las "Normas de desempeño para nuevos calentadores de madera residenciales, nuevos calentadores hidrónicos residenciales y hornos de aire forzado" el 3 de febrero de 2015. La regla final se publicó el 16 de marzo de 2015 en 80 FR 13702 para la subparte AAA - Normas de Rendimiento para calentadores de madera residenciales nuevos y en 80 FR 13715 para la subparte QQQQ - Normas de Rendimiento para nuevos calentadores hidrónicos residenciales y hornos de aire forzado. Copia completa de la regla final, incluido el Preámbulo, en el Registro Federal (Volumen 80, Número 50) en <https://federalregister.gov/a/2015-03733>.

El NSPS (New Source Performance Standards) de 1988 requería el Método 5G (usando una ubicación de muestreo de túnel de dilución) o el Método 5H (usando una ubicación de muestreo de chimenea) para medir la MP, con un factor de conversión para equiparar mejor los resultados de MP de 5H y 5G a fin de establecer las emisiones de un dispositivo mientras se somete a pruebas de certificación. El ajuste entre los métodos 5G y 5H ha dado como resultado una diferencia de hasta un 30% en los valores de certificación.

Por estas razones, ya no se permite el uso del Método 5H para la certificación según la NSPS de 2015. Debido a estas consideraciones, en el NSPS de 2015, la Agencia requiere el uso de un método de prueba de PM (ASTM E2515-11, un método de túnel de dilución) para la medición de PM en todos los dispositivos, usando los protocolos de operación y abastecimiento de combustible prescritos con la excepción de método de prueba EN 303-5. Si bien el Método 5G no está prescrito en el NSPS de 2015, no se prohíbe su uso en un método de prueba alternativo si se recibe la aprobación previa de la EPA. Por ejemplo, la EPA consideraría el Método 5G existente para su uso con el borrador del método ASTM Cordwood, si se solicita. Sin embargo, en ese caso, la EPA probablemente incluiría varias advertencias después de la aprobación para alinearlos con el enfoque actual de la EPA para la medición de PM de leña en estufas de leña (es decir, ASTM 2515 con algunas modificaciones). Sección 4 describe el proceso de la EPA para la aprobación de alternativas y modificaciones a los métodos de prueba y los procedimientos de prueba.

Adicionalmente, La Agencia continúa reconociendo - como lo hizo en el NSPS de 1988 - que los métodos de prueba son una parte integral de cualquier regulación y que el límite de emisión está relacionado directamente con el método. Esto es especialmente cierto para la MP porque la MP no es una cantidad absoluta, sino que está definida por el método

de medición (es decir, es una cantidad definida operativamente). Los diferentes métodos producen diferentes resultados de emisión de PM porque las partículas de la combustión de la madera (formadas por compuestos orgánicos condensados) quedan atrapadas con diferentes eficiencias dependiendo del método de muestreo de PM utilizado.

En particular los métodos "Standard Test Method for Determining Particulate Matter Emissions from Wood Heaters" (E2780 – 10 (Reapproved 2017)) y "Standard Test Method for Determining Particulate Matter Emissions from Pellet Heaters" (E2779 – 10) deben ser utilizados con el método de ensayo E2515. (ver Process for Developing Improved Cordwood Test Methods for Wood Heaters - Prepared by U.S. EPA Office of Air Quality Planning and Standards (OAQPS) 2016).

3.1.4. IMPACTO

De acuerdo a EPA's Wood Stove / Wood Heater regulations: Frequently Asked Questions²³, el requerimiento de certificación para los calefactores sólo reducirá gradualmente la contaminación por material particulado, ya que sólo se aplica a los nuevos y da al sector un periodo de gracia de cinco años (hasta 2020) antes de que entren en vigor sus normas más estrictas (Fase 2).

La EPA calcula que la aplicación de la norma eliminará entre 360 y 810 muertes prematuras al año en el periodo 2015-2020, además de reducir los ingresos hospitalarios y los días de trabajo perdidos por enfermedades respiratorias. La EPA cuantificó estos beneficios entre 3.400 y 7.600 millones de dólares anuales durante el periodo 2015-2020, equivalentes a decir que, por cada dólar gastado, se obtuvo un beneficio de entre 74 y 165 dólares. Este beneficio final corresponde a más de 70 veces el costo de cumplimiento anualizado estimado por la agencia para los fabricantes, 46 millones de dólares.

Un 98% de los beneficios monetizados de la implementación de la norma vendrán de la reducción de la mortalidad prematura asociada a la exposición a MP2.5. Esta monetización no incluyó la valorización de otras reducciones de emisiones como los compuestos orgánicos volátiles (COV), monóxido de carbono, black carbon y otros.

La regulación de los niveles de emisiones de los calefactores, califica como una reglamentación económicamente significativa ("*economically significant rule*"), por lo que la normativa estadounidense requiere que se realice un análisis de impacto regulatorio. Dentro de este análisis de impacto regulatorio, se reconoce que se espera una mejora en la eficiencia energética de los calefactores como un beneficio de la implementación de requisito. Sin embargo, este beneficio no es cuantificado, ya que se estimó que no se cuenta con información robusta.

Como referencia, se menciona la carta de la asociación NESCAUM (Northeast States for Coordinated Air Use Management), en donde se comenta la propuesta de NSPS para el año 2015²⁴, también se indica que se espera que los requerimientos sobre las emisiones implicarán un aumento en la eficiencia de los calefactores. Solicita en esta carta, que la EPA trabaje en conjunto con el Departamento de Energía (US Department of Energy) para crear estándares mínimos de eficiencia energética utilizando el estándar de la Canadian

23 <https://sgp.fas.org/crs/misc/R43489.pdf>

24 <https://www.nescaum.org/documents/nescaum-comments-resid-wood-heaters-nsps-20140505.pdf/>

Standard Association (CSA) ²⁵; se indica que son los únicos tipos de calefactores que no están sometidos a estos mínimos. En esta misma carta, NESCAUM indica que los ahorros en combustible compensarán ampliamente el aumento de los precios, típicamente en seis meses, también indica y menciona ejemplos de subsidios que se dan en Maine o Massachusetts para la compra de calefactores nuevos para poder justificar artefactos de mayor costo.

Con respecto a los costos, el documento de preguntas frecuentes indica que las asociaciones que representan a las industrias afectadas, tienen visiones distintas sobre los estándares del 2015. Algunos de los fabricantes han expresado preocupación de que los estándares significarán un costo muy alto. La EPA estimó que un 88% de los costos adicionales afectan a las categorías de calefactores hidrónicos y calefactores de tiro forzado. La EPA estima que los costos por cumplir con el estándar para estas tipologías serán alrededor de un 17% del costo de venta.”

3.2. CANADÁ

Canadá comparte los estándares normativos con Estados Unidos, y su aplicación se realiza a nivel de provincia o municipio, por lo que resulta interesante evaluar.

3.2.1. CARACTERÍSTICAS DE PROGRAMAS DE MEPS Y ETIQUETADO DE EE

A nivel nacional, en cuanto a regulaciones de eficiencia energética de artefactos domésticos, está la “Canada’s Energy Efficiency Act” y las “Energy Efficiency Regulations”. Dentro de la categoría de “equipos de calefacción y aire acondicionado”, no se hace referencia a equipos que utilicen leña.

En cuanto a los estándares de emisión para los calefactores a leña, en el año 2000, la Asociación Canadiense de Estándares, (CSA, por las siglas en inglés de *Canadian Standards Association*) desarrolló el estándar CSA B415.1 *Performance Testing of Solid Fuel Burning Heating Appliances*, el cual estuvo basado en la sección 60-532 del Clean Air Act de 1988, subparte AAA, que ya fue mencionado en el análisis de Estados Unidos (NSPS). El estándar canadiense fue actualizado en el año 2010 (CSA B415.10), llegando a ser más estricto que el estándar estadounidense.

A continuación, se muestran los principales límites de emisión propuestos por el estándar canadiense:

Tabla 46. Límites de emisiones para calefactores a combustibles sólidos en Canadá

Tipo de artefacto	Requerimiento CSA B415.10
Artefactos de combustión de leña catalíticos	2,5 g/h
Artefactos de combustión de leña no-catalíticos	4,5 g/h
Calderas de interior y hornos ²⁶	0,4 g/MJ

²⁵ Se refiere al estándar mencionado previamente en este documento, CSA B415.1-10:2010

²⁶ El nombre original para la categoría es “indio boilers and furnaces”

Tipo de artefacto	Requerimiento CSA B415.10
Calefactores hidrónicos de exterior	0,13 g/MJ

Fuente: (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2012)

Una diferencia con el caso estadounidense, es que el cumplimiento del estándar para los calefactores es voluntario a nivel central, pero puede ser requerido como obligatorio por las provincias o a nivel municipal. Esto se debe a que la gestión de la calidad del aire en Canadá es una responsabilidad compartida entre el gobierno federal y las provincias y territorios, lo que se refleja, por ejemplo, en lo siguiente:

- El Sistema de Gestión de la Calidad del Aire (AQMS, por las siglas en inglés de Air Quality Management System) es un proceso de colaboración entre el gobierno federal y las provincias / territorios, y coordinado a través del Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME, por las siglas en inglés de *Canadian Council of Ministers of the Environment*)
- El gobierno federal tiene autoridad para abordar la contaminación atmosférica en virtud de la Ley de Protección del Medio Ambiente de Canadá de 1999
- Las provincias y los territorios regulan o controlan de otro modo la contaminación atmosférica a través de su autoridad sobre el desarrollo de recursos y la industria
- Algunos municipios cuentan con ordenanzas para abordar las fuentes de emisión locales.

La Estrategia de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá sobre Contaminantes Climáticos de Corta Duración, publicada en 2017²⁷, indica que el gobierno federal deberá considerar medidas para los nuevos aparatos de combustión de leña que garanticen normas nacionales coherentes en todo Canadá, y garanticen que los nuevos aparatos sean eficientes, lo que aun no está en aplicación. Por otro lado, el Código de Prácticas de la CCME para los aparatos residenciales de combustión de madera (2012) proporciona orientación para apoyar a los gobiernos federales, provinciales, territoriales y municipales para abordar las emisiones de los aparatos residenciales de combustión de madera.

A continuación, se mencionan algunas de las acciones relevantes que han sido implementadas a nivel provincial.

- **Columbia Británica:** El Reglamento de aparatos domésticos de combustión de combustibles sólidos regula a los vendedores y usuarios de aparatos de combustión de madera en Columbia Británica (1994, actualizado en 2016) - los aparatos en venta deben estar certificados por:
 - US EPA CFR 40 Parte 60, subparte QQQQ (calderas y hornos) y subparte AAAA para otros aparatos. Esta regulación es para material particulado y aplica para los artefactos indicados.
 - CSA B415.1-10. Este estándar define la determinación de la potencia calorífica, medición de emisiones y de la eficiencia.

Además de lo anterior, el año 2008, el Gobierno de Columbia Británica puso en marcha un programa provincial de cambio de estufas de leña para facilitar el intercambio de al menos 50.000 estufas de leña antiguas y de altas emisiones por

²⁷ https://publications.gc.ca/collections/collection_2018/eccc/En4-299-2017-eng.pdf

aparatos más nuevos con certificación EPA o CSA B415.1-10 que utilizan tecnologías de combustión avanzadas

- **Ontario:** El Programa Provincial de Incentivos para la Conservación de la Energía en el Hogar ofrece un reembolso por la sustitución de un aparato/sistema de combustión de leña por:
 - Un calefactor interior de combustión de leña con certificación CAN CSA-B415.1 o US EPA 40 CFR Parte 60
 - Aparato de combustión de pellets de madera para interiores

El mismo reembolso aplica para la sustitución de una caldera exterior de combustible sólido por un aparato exterior de combustión de leña certificado por la CSA o la EPA (categoría: calentador hidrónico exterior). La capacidad del nuevo equipo debe ser igual o menor que la capacidad de la caldera que se sustituye.

- **Quebec:** La legislación provincial prohíbe la fabricación, venta y distribución de aparatos de combustión de madera que no tengan la certificación CAN CSA-B415.1 (eficiencia energética y emisiones) o US EPA 40 CFR 60 subparte AAAA (solo regula emisiones, estándar de Estados Unidos).

La normativa se aplica a cualquier calefactor (incluidas los calefactores a partir de 2019): horno, caldera, inserto de chimenea y chimenea de fábrica diseñados para quemar solo madera en cualquiera de sus formas. Sin embargo, no se aplica a los siguientes aparatos

- Chimeneas destinadas únicamente a un uso exterior;
 - Una caldera u horno con una potencia calorífica nominal de 150 kW o más;
 - Un evaporador de jarabe de arce; o
 - Un aparato de combustión de madera destinado exclusivamente a la exportación desde Quebec.
- **Nuevo Brunswick:** La legislación provincial se aplica a todos los aparatos de calefacción de combustible sólido fabricados, puestos a la venta, vendidos y alquilados en Nuevo Brunswick. La normativa no se aplica a la fabricación de un producto designado para la exportación desde Nueva Brunswick.

Según el requisito provincial, los nuevos aparatos deben cumplir con los requisitos de pruebas y emisiones de CAN/CSA B415.1-00. Las emisiones de partículas deben cumplir la cláusula 4.2 de la norma CAN/CSA-B415.1-00. Este requerimiento hace referencia a la versión antigua de la norma.

Por último, esta provincia también cuenta con un programa de cambio de estufas de leña, en el cual se ofrece 250 dólares para cambiar los calefactores antiguos no certificadas por aparatos de combustión más limpia certificados por la CSA o la EPA

3.2.2. OFERTA DE MERCADO

En vista de que se utilizan las mismas regulaciones que en Estados Unidos, se puede encontrar en el listado de calefactores certificados por la EPA un número de calefactores

fabricados en Canadá. De la misma manera, para el mercado canadiense, típicamente se hace referencia al listado de calefactores certificados de la EPA para identificar a estos²⁸.

A continuación, se muestra un listado de calefactores certificados por la normativa canadiense, así como calefactores que no fueron encontrados en el registro de la EPA pero que aparecen en las páginas de proveedores:

Tabla 47. Oferta de calefactores en Canadá

Modelo	Tipo	Combustible	Emisiones (g/h)	Potencia máx. (kW)	Rendimiento	Certificación
Everest 2000	Chimenea no catalítica	Leña	2,34	8,4	66,71%	CSA
Everest	Chimenea no catalítica	Leña	2,34	8,4	66,71%	CSA
Etna 2000	Chimenea no catalítica	Leña	2,34	8,4	66,71%	CSA
Equinox	Chimenea no catalítica	Leña	2,34	8,4	66,71%	CSA
Barcellona	Chimenea no catalítica	Leña	2,34	8,4	66,71%	CSA
Lisbonne	Chimenea no catalítica	Leña	2,34	8,4	66,71%	CSA
Malibu	Chimenea no catalítica	Leña	2,34	8,4	66,71%	CSA
HE300	Chimenea no catalítica	Leña	2,34	8,4	66,71%	CSA
Cuisinière	Estufa no catalítica	Leña	1,3	15,8	73,04%	CSA
Tisan	Estufa no catalítica	Leña	1,3	15,8	73,04%	CSA
Atmosphere 2012	Estufa no catalítica	Leña	1,3	15,8	73,04%	CSA
Roby 2500	Estufa no catalítica	Leña	1,3	15,8	73,04%	CSA
Forgeron	Estufa no catalítica	Leña	1,3	15,8	73,04%	CSA
Ultimate 2015	Estufa no catalítica	Leña	1,3	15,8	73,04%	CSA
Magnum	Estufa no catalítica	Leña	1,3	15,8	73,04%	CSA
Master	Estufa no catalítica	Leña	1,3	15,8	73,04%	CSA
Escape 1500	Estufa no catalítica	Leña	1,26	19,0	N/A	EPA
Savannah II	Estufa no catalítica	Leña	1,26	19,0	N/A	EPA
Blackcomb II	Estufa no catalítica	Leña	1,26	19,0	N/A	EPA
Columbia II	Estufa no catalítica	Leña	1,26	19,0	N/A	EPA

28 Ver, por ejemplo: <https://welovefire.com/fireplaces/are-wood-fireplaces-and-wood-stoves-legal-to-use-in-canada/>

Modelo	Tipo	Combustible	Emisiones (g/h)	Potencia máx. (kW)	Rendimiento	Certificación
Deco II	Estufa no catalítica	Leña	1,26	19,0	N/A	EPA
Cape town 1800	Estufa no catalítica	Leña	1,8	22,0	N/A	EPA
Escape 1800 - DB03105	Estufa no catalítica	Leña	1,54	22,0	N/A	EPA
Escape 1800 - DB03112	Estufa no catalítica	Leña	1,54	22,0	N/A	EPA
Escape 1800 - DB03111	Estufa no catalítica	Leña	1,54	22,0	N/A	EPA
Escape 1800 - DB03102	Estufa no catalítica	Leña	1,54	22,0	N/A	EPA
Austral III	Estufa no catalítica	Leña	0,95	26,4	N/A	EPA
Myriad III	Estufa no catalítica	Leña	0,95	26,4	N/A	EPA
Legend III	Estufa no catalítica	Leña	0,95	26,4	N/A	EPA
Black stag II	Estufa no catalítica	Leña	0,95	26,4	N/A	EPA
Escape 2100	Estufa no catalítica	Leña	1,32	32,2	N/A	EPA
HT-3000	Estufa no catalítica	Leña	1,32	32,2	N/A	EPA
Escape 1500	Chimenea insertada	Leña	1,26	19,0	N/A	EPA
Escape 1800-I	Chimenea insertada	Leña	1,54	22,0	N/A	EPA
Eco-55	Calefactor pellet	Pellet	0,96	11,5	N/A	EPA
Eco-55ST	Calefactor pellet	Pellet	0,96	11,5	N/A	EPA
Eco-55CT	Calefactor pellet	Pellet	0,96	11,5	N/A	EPA

Fuente: Registro de estufas certificadas polytests y búsqueda de proveedores realizada por el consultor

3.2.3. METODOLOGÍA DE ENSAYO

El procedimiento de ensayo canadiense de los aparatos de calefacción de habitaciones de biomasa se define en la norma CSA B415.1-10:2010: "Performance testing of solid-fuel burning heating appliances"²⁹. Esta norma define la determinación de la potencia calorífica, la medición de las emisiones, el rendimiento y la medición de los caudales de los gases de combustión. Aplica para calefactores e insertos de chimenea con alimentación manual o automática, con una tasa de combustión menor a 5 kg/h.

Desarrollado originalmente en 1992 bajo el título "Performance Testing of Solid Fuel Burning Stoves, Inserts, and Low-Burn-Rate Factory-Built Appliances", se basó en las normas de la EPA

²⁹ <https://www.scc.ca/en/standards/work-programs/csa/performance-testing-solid-fuel-burning-heating-appliances>

de EE.UU. para los nuevos calefactores de leña residenciales (NSPS). A este respecto, es importante señalar:

- Las normas canadienses se actualizaron en 2010 aumentando el rigor y fueron reafirmadas en 2015 tras la actualización de las normas de la EPA de EE.UU.
- El cumplimiento de la norma canadiense es voluntario, excepto cuando es regulada por la normativa provincial o municipal.
- Debido a que muchos aparatos de combustión de leña en el mercado canadiense han sido diseñados y construidos de acuerdo con las especificaciones de EE.UU., las jurisdicciones canadienses reconocen la norma de la EPA de EE.UU. y la norma de la CSA como equivalentes.

La norma CSA B415.1-10:2010 se aplica a calefactores y chimeneas insertables, alimentados manual y automáticamente con una tasa de combustión inferior a 5 kg/h. La norma CSA B415.1-10:2010 se aplica también a calefactores hidrónicos con una potencia inferior a 150 kW. No se incluyen en esta norma las chimeneas y calentadores de mampostería construidos in situ, así como las chimeneas construidas en fábrica con un índice de combustión mínimo superior o igual a 5 kg/h. La norma CSA B415.1-10:2010 es coherente con el método de ensayo US EPA Method 28, y el método para determinar la emisión de material particulado 5G. Esto significa que las emisiones de partículas se determinan mediante el uso de un túnel de dilución de flujo total.

Los artefactos son ensayados en cuatro tasas distintas de combustión, definidas en kg/h o como porcentaje de la potencia nominal. Se debe ejecutar un ensayo en cada categoría:

Tabla 48. Tasas de combustión observadas en ensayos canadienses

Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4
<35% de carga nominal	≥35% y <53% de carga nominal	53 a 76% de carga nominal	100% carga nominal

Fuente: IEA bioenergy task 32

El combustible utilizado para los ensayos es pino oregón dimensionado o leña. La carga de combustible es definida de acuerdo al volumen de la cámara de combustión y a la densidad del combustible. Para leña, la densidad es de 162 kg/m³ y para el pino oregón es de 112 ± 11,2 kg/m³. El contenido de humedad de la leña debe estar en un rango entre 18 y 28% en base seca.

Además de la temperatura ambiente y de los gases de combustión, también se monitorean las temperaturas de la superficie del artefacto, y las emisiones de CO y CO₂ son medidas sobre todo el período de prueba. Adicionalmente a las emisiones de MP, también se calculan las emisiones promedio de CO y la eficiencia energética promedio. No se requieren límites para ninguno de estos dos resultados.

3.2.4. IMPACTO

Según “*Impact of residential Wood Stove Replacement on Air Emissions in Canada*”³⁰, la entrada en vigencia de la primera versión del estándar CSA (B415.1-00) resultaría en una reducción de la emisión de MP_{2,5} de entre un 30 y un 55%, además de una reducción no

30 <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.576.8071&rep=rep1&type=pdf>

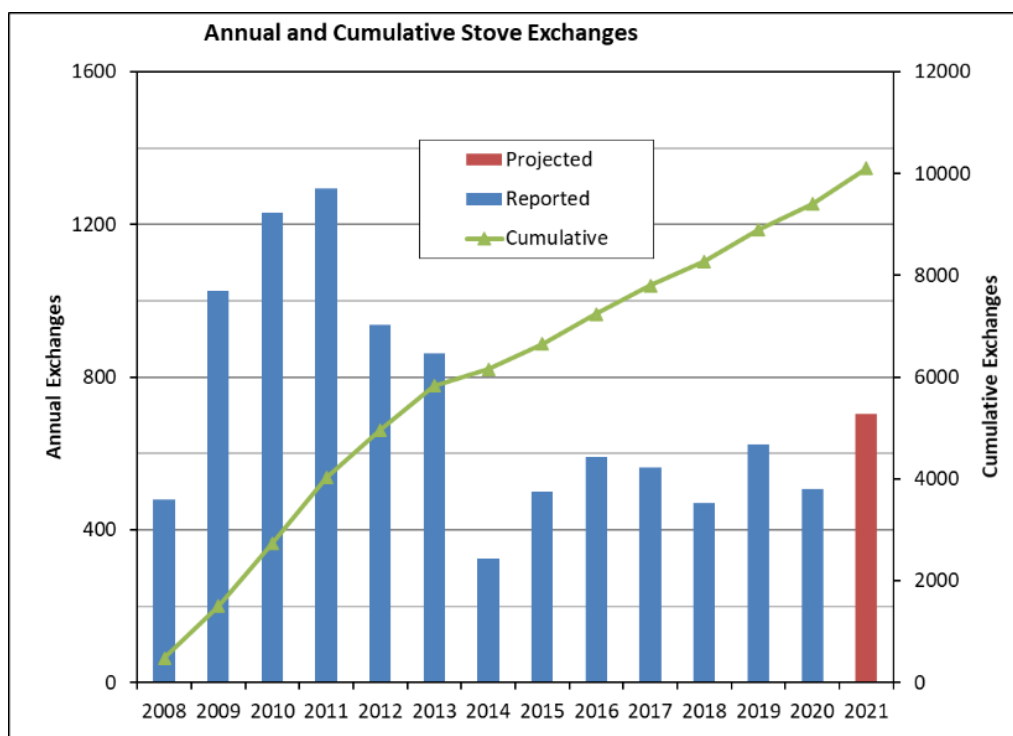
cuantificada de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), COV y CO emitidos por el sector de calefacción residencial. También estima que producto de este estándar, se obtendría un 10% de reducción en la emisión de gases de efecto invernadero. Al ser un requerimiento que únicamente se aplica para calefactores nuevos, el documento en cuestión indica que el reemplazo de los artefactos en uso podría tomar entre 20 y 40 años.

No se encontraron documentos que mencionaran el impacto de la implementación de la versión actualizada del estándar CSA (B415.1-10) a nivel nacional. Sin embargo, a nivel de provincias, se encontró información relevante en el caso de British Columbia:

- **British Columbia:** El humo asociado a calefacción contribuye alrededor de un 27% de las emisiones de MP_{2.5} en la provincia. El programa de recambio de calefactores ha reemplazado más de 9.000 artefactos desde que fue implementado en 2008. Este recambio ha significado una reducción de alrededor de 3.000 toneladas de MP liberado a la atmósfera.

Hasta el año 2014, en donde se realizó una evaluación del programa de recambio de calefactores³¹, se habían transferido más de 2,2 millones de dólares a comunidades en la provincia. Los resultados y proyecciones de la evaluación del programa realizada en 2020 se presentan en la figura siguiente.

Figura 37. Programa de recambio de calefactores en Columbia Británica



Fuente: Gobierno de Columbia Británica³²

31 https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/air/reports-pub/wsep_evaluation.pdf

32 <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/air-land-water/air/air-pollution/smoke-burning/exchange>

3.3. AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDA

La regulación para la realización de ensayos es común para Australia y Nueva Zelanda, no así la entrega de información al mercado, como se menciona a continuación.

En (Equipment Energy Efficiency (E3), 2021) se da cuenta que las características de los calefactores que combustionan combustibles sólidos, son las siguientes:

- Usan leña, pellets de madera y, ocasionalmente, carbón,
- Operan combustionando combustibles sólidos,
- Producen contaminantes atmosféricos, incluyendo la emisión de material particulado (MP_{2.5} y MP₁₀), los que pueden tener efectos negativos en el medio ambiente e impactar la salud de la población,
- Generalmente, están dimensionados para calefaccionar grande(s) habitación(es) y tienen una capacidad típica de entre 8 y 25 kW (29 – 99 MJ/h),
- No están regulados bajo E3/GEMS, aunque son regulados bajo los requerimientos de seguridad y emisiones/medioambiente en diferentes jurisdicciones.

A continuación, se entrega una caracterización de la situación en Australia y Nueva Zelanda.

3.3.1. CARACTERÍSTICAS DE PROGRAMAS DE MEPS Y ETIQUETADO DE EE

Una restricción importante que afecta a calefactores que combustionan combustibles sólidos, es que son diseñados para cumplir con requerimientos simultáneos de emisiones y de eficiencia.

La eficiencia y la potencia de los artefactos se determina a con la norma AS/NZ 4012:2014, mientras que las emisiones se determinan a través del procedimiento descrito en la norma AS/NZS 4013:2014. Estas normas imponen la obligación de incorporar una placa que da cuenta de la eficiencia y las emisiones, es decir, el etiquetado es declarativo y no comparativo.

Las exigencias para la comercialización son las mostradas en la Tabla 49. En (Equipment Energy Efficiency (E3), 2021) se destaca que se considera una medición con combustible en base seca para la eficiencia, agregando que los resultados reportados son entre un 8 y 10% inferiores a los obtenidos cuando se considera el combustible en base húmeda:

Tabla 49. Límites para la eficiencia y las emisiones establecidos para calefactores que combustionan combustibles sólidos en Australia y Nueva Zelanda

	Eficiencia	Emisiones
Australia	Superior a 60% establecido en AS/NZS 4012:2014 ³³	1,5 g/kg de combustible. Se especifica en regulación estatal en Australia, mientras que en Nueva Zelanda se establecen en National Environmental Standards for Air Quality
Nueva Zelanda	Superior a 65% establecido en National Environmental Standards for Air Quality ³⁴	

Fuente: (Equipment Energy Efficiency (E3), 2021)

Como se mencionó, los territorios pueden establecer su propia regulación. Así, por ejemplo, Australia Occidental (Western Australia, WA), a través de la Environmental Protection (Solid Fuel Heater and Firewood) Regulations 2018³⁵ se establece lo siguiente: ³⁶

- Desde el 31 de agosto de 2018 todos los calefactores que combustionan combustibles sólidos vendidos en WA deben tener una eficiencia de al menos 55% y emisiones de material particulado no mayores a 2,5 gramos por kilogramo de combustible quemado.
- Desde el 8 de agosto de 2019 todos los calefactores que combustionan combustibles sólidos vendidos en WA deben tener una eficiencia de al menos 60% y emisiones de material particulado no mayores a 1,5 gramos por kilogramo de combustible quemado.

Además de lo anterior, se establece que los calefactores deben tener una placa que da cuenta del cumplimiento de las normas de eficiencia y emisiones de MP.

Junto con lo anterior, se establecen restricciones para la venta de combustibles sólidos. Éstos no pueden tener un contenido de humedad superior al 20% ni pueden ser pintados, o haber sufrido algún tratamiento químico, o haber sido cubiertos con plástico, esto porque el combustible puede contener sustancias que generan emisiones nocivas para el medio ambiente y la salud humana, durante la combustión.³⁶

3.3.2. OFERTA DE MERCADO

El Ministerio del Medio Ambiente de Nueva Zelanda publica la lista de los artefactos que combustionan leña, cuya comercialización es permitida en el mercado. La lista completa incluye 429 calefactores, los que se pueden observar en el ANEXO 1, mientras que en la Tabla 50 se muestran datos generales de los calefactores.

³³ Antes de 2019, la eficiencia mínima permitida era de 55% y se incrementó en 2019, con la especificación en la norma AS/NZS 4012.

³⁴ Se estableció en 2004.

³⁵

[https://www.slp.wa.gov.au/gazette/gazette.nsf/searchgazette/F9D33D8119B067E9482582F9007ECE60/\\$file/Gg130.pdf](https://www.slp.wa.gov.au/gazette/gazette.nsf/searchgazette/F9D33D8119B067E9482582F9007ECE60/$file/Gg130.pdf)

³⁶ <https://www.der.wa.gov.au/our-work/programs/burnwise/511-regulations>

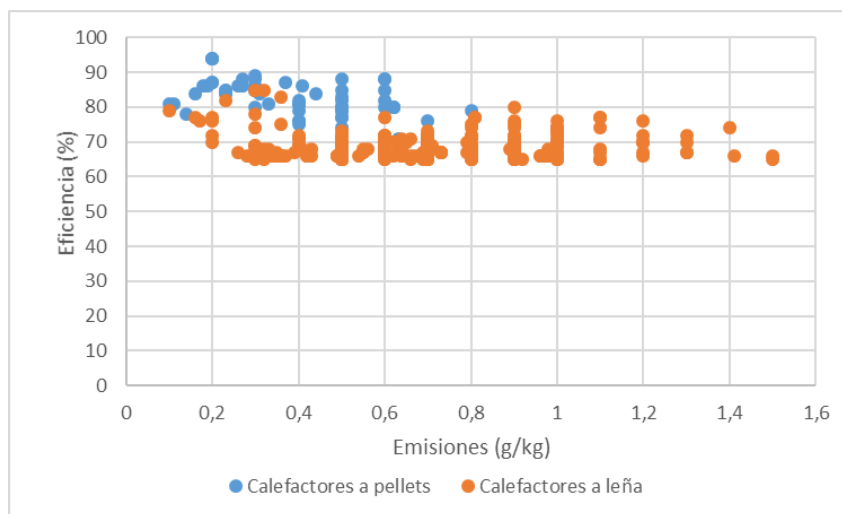
Tabla 50. Caracterización de calefactores comercializados en Nueva Zelanda

	Información		Eficiencia (%)		Emisiones (g/kg)	
	Completa	Incompleta	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
Pellets de madera	65	14	94	65	1	0,1
Leña seca	320	27	85	65	1,5	0,1
Leña blanda ³⁷	2	0	67	66	0,98	0,5

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Ministerio del Medio Ambiente en Nueva Zelanda³⁸

Respecto de la eficiencia y las emisiones que declaran los artefactos que se pueden comercializar en Nueva Zelanda se muestran en la figura siguiente:

Figura 38. Emisiones vs eficiencia en calefactores comercializados en Nueva Zelanda



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Ministerio del Medio Ambiente en Nueva Zelanda³⁸

Respecto a Australia, no se cuenta con información centralizada de los productos que se ofrecen en el mercado, lo que sí está disponible para otras tecnologías.³⁹

Respecto de las mejores tecnologías disponibles en el mercado, en (Equipment Energy Efficiency (E3), 2021) se da cuenta que la regulación de las emisiones no es uniforme en Australia y Nueva Zelanda, observándose regulaciones por territorio. Así, se destaca que la denominación de Quemador de Ultra Bajas Emisiones (ULEB, por las siglas en inglés de Ultra-low Emission Burner), se entrega, bajo el Concejo Regional de Canterbury del Medio

³⁷ Corresponde a un tipo de leña menos denso y más resinoso que la leña seca. Arde más rápido, por lo que se considera mejor para encender el fuego, y su precio es menor que el de la leña seca. <https://www.firenz.co.nz/hints-and-tips-item/types-of-fire-wood-for-wood-burners>.

³⁸ <https://environment.govt.nz/guides/authorised-wood-burners/>

³⁹ https://reg.energyrating.gov.au/comparator/product_types/

Ambiente (Environment Canterbury Regional Council) deben tener un máximo de emisión de 38 mg por MJ de energía útil, y tienen una eficiencia energética igual o superior a 65%.

En Canterbury se creó un test de ensayo que se basa en AS/NZS 4012 (eficiencia) y AS/NZS 4013 (emisiones), pero modificando los ciclos de trabajo para acercarse a la utilización de los calefactores en la práctica. Este mecanismo de ensayo es reconocido en otras regiones de Nueva Zelanda, pero no tienen alcance nacional.

Respecto de la evolución de la tecnología, en 2015 se aprobó en Nueva Zelanda el primer calefactor ULEB, que consideraba 2 cámaras de combustión, y en la actualidad existen versiones con solo una. En los últimos años, se destaca que existen versiones con una única cámara de combustión, solo el suministro de aire primario, e incorporando un catalizador.

Respecto de calefactores a pellets de madera, se destaca que la operación y la calidad del combustible es estandarizada. Se destaca la baja venta de este tipo de calefactores (350 por año) y su potencia ha tendido a disminuir, dada la mejora en la EE de las viviendas, que hacen que se necesite menos energía para mantener el confort térmico.

Los modelos con eficiencia sobre el 90% para calefactores a pellets de madera, y sobre 80% para calefactores a leña se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 51. Modelos es estufas a leña y pellets de madera más eficientes en Nueva Zelanda

Fabricante	Artefacto	Tipo	Combustible	Calentador de agua	Emisiones (g/kg)	Eficiencia (%)
C H Faul & Company Limited	Froling PE1 Pellet 25	No empotrado	Pellets de madera	No	0,2	94
C H Faul & Company Limited	Froling PE1 Pellet 30	No empotrado	Pellets de madera	No	0,2	94
C H Faul & Company Limited	Froling PE1 Pellet 35	No empotrado	Pellets de madera	No	0,2	94
Spark Energy Limited	ETA SH40 Gasification Boiler	No empotrado	Leña seca	No	0,32	85
Spark Energy Limited	ETA SH30 Gasification Boiler	No empotrado	Leña seca	No	0,3	85
Spark Energy Limited	ETA SH20 Gasification Boiler	No empotrado	Leña seca	No	0,36	83
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Fusion Boiler	No empotrado	Leña seca	Sí	0,23	82
Eco Stove Ltd	Ursa 159	No empotrado	Leña seca	No	0,9	80

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente en Nueva Zelanda³⁸

3.3.3. METODOLOGÍA DE ENSAYO

En Australia y Nueva Zelanda no existe una regulación separada para artefactos que combustionan pellets de madera, de aquellos que operan con leña. Las normas de ensayo son:

Tabla 52. Normas de ensayo para calefactores que combustionan combustibles sólidos en Australia y Nueva Zelanda

Aspecto	Norma	Campo de aplicación	Exclusiones
Determinación de la potencia de salida y la eficiencia – calefactores a leña	AS/NZS 4012:2014 - Domestic Solid Fuel Burning Appliances - Method for Determination of Power Output and Efficiency	Artefactos de calentamiento de ambientes, y aquellos que calientan ambientes e incluyen artefactos de calentamiento de agua que combustionan combustibles sólidos	(a) aparatos de albañilería construidos en el sitio; (b) artefactos de calefacción central; (c) aparatos de cocina; (d) artefactos destinados únicamente para la calefacción de agua; (e) aparatos destinados únicamente a distribuir el calor convectivo a través de conductos a las ubicaciones alejadas del aparato; y, (f) aparatos que, cuando combustionan a la tasa de quemado alta prescrita en la norma, tienen una salida máxima de dióxido de carbono de la cámara de combustión de menos del 5% en volumen con cualquier puerta opcional instalada y cerrada.
Emisiones de material particulado y criterio de aceptación	AS / NZS 4013: 2014: Aparatos domésticos que queman combustibles sólidos - Método para determinar la emisión de gases de combustión	Artefactos domésticos que combustionan combustibles sólidos, incluyendo: a) artefactos de calentamiento de ambientes, y b) artefactos de calentamiento de ambientes que incluyen artefactos de calentamiento de agua.	(a) Artefactos de albañilería construidos en el sitio, (b) artefactos de calefacción central, (c) cocinas, (d) artefactos para calentamiento de agua exclusivo, (e) artefactos considerados solo para distribuir calor convectivo vía ductos a una locación distante a los artefactos, (f) artefactos que al combustionar a la tasa de quemado alta establecida en el

Aspecto	Norma	Campo de aplicación	Exclusiones
			estándar tienen una salida máxima de CO ₂ de la cámara de combustión de menos del 5% en volumen con puertas opcionales instaladas y cerradas, y (g) artefactos con tasas de flujo volumétrico a través de la cámara de combustión, que son muy altas para permitir la captura total del humo por el método descrito en el ensayo.
Determinación de la potencia de salida y la eficiencia – calefactores a pellets de madera	AS/NZS 5078:2007 - Domestic solid fuel burning appliances - Pellet heaters - Determination of power output and efficiency	Artefactos de calentamiento de ambientes, y aquellos que calientan ambientes e incluyen artefactos de calentamiento de agua que combustionan pellets de madera	(a) aparatos de albañilería construidos en el sitio; (b) artefactos de calefacción central; (c) aparatos de cocina; (d) artefactos destinados únicamente para la calefacción de agua; (e) aparatos destinados únicamente a distribuir el calor convectivo a través de conductos a las ubicaciones alejadas del aparato
Determinación de emisiones: Calefactores a leña	AS/NZS 4013:2014 - Domestic solid fuel burning appliances— Method for determination of flue gas emission.	Artefactos de calentamiento de ambientes, y aquellos que calientan ambientes e incluyen artefactos de calentamiento de agua que combustionan combustibles sólidos	(a) aparatos de albañilería construidos en el sitio; (b) artefactos de calefacción central; (c) aparatos de cocina; (d) artefactos destinados únicamente para la calefacción de agua; (e) aparatos destinados únicamente a distribuir el calor convectivo a través de conductos a las ubicaciones alejadas del aparato; y, (f) aparatos que, cuando combustionan a la tasa de quemado alta prescrita en la norma, tienen una salida máxima de dióxido de carbono de la cámara de combustión

Aspecto	Norma	Campo de aplicación	Exclusiones
			de menos del 5% en volumen con cualquier puerta opcional instalada y cerrada, (g) artefacto con un flujo volumétrico a través de la cámara de combustión que son demasiado altos para permitir la captura total de humo.
Determinación de emisiones: Calefactores a pellets de madera	AS/NZS 4886:2007 - Domestic solid fuel burning appliances - Pellet heaters - Determination of flue gas emission	Artefactos de calentamiento de ambientes, y aquellos que calientan ambientes e incluyen artefactos de calentamiento de agua que combustionan pellets de madera	(a) aparatos de albañilería construidos en el sitio; (b) artefactos de calefacción central; (c) aparatos de cocina; (d) artefactos destinados únicamente para la calefacción de agua; (e) aparatos destinados únicamente a distribuir el calor convectivo a través de conductos a las ubicaciones alejadas del aparato
Combustible de ensayo	AS/NZS 4014: Domestic solid fuel burning appliances - Test fuels <ul style="list-style-type: none"> o 1:1999: madera dura (revisión pendiente) o 2:2016: madera blanda o 3:1999: briquetas de lignito o 4:1999: carbón sub-bituminoso o 5:1999: Briquetas de carbón semiantracita (retirada) o 6:2007: pellets de madera. 	En el caso particular de AS/NZS 4014:6:2007 se indica que el estándar aplica cuando quieren desarrollarse ensayos bajo las normas AS/NZS 5077, AS/NZS 5078, Y AS/NZS 4886	
Instalación: calefactores a leña	AS/NZS 2918:2018: Domestic solid fuel burning appliances - Installation	a) Calefactores, incluyendo chimeneas de frente abierto	a) Sistema de ductos de distribución de aire caliente más allá de la penetración primaria del muro, piso o techo.

Aspecto	Norma	Campo de aplicación	Exclusiones
		empotradas e incorporadas. b) artefactos de cocción, c) calefactores de agua abiertos d) calefacción central e) combinación de los anteriores.	b) Electrodomésticos con salidas de chimeneas superiores a 100 000 mm ² c) la durabilidad a largo plazo de los materiales. d) la durabilidad de los materiales de construcción en las proximidades de cualquier instalación de electrodomésticos.
Instalación: calefactores a pellets de madera	AS/NZS 5077 - Domestic solid fuel burning appliances - Pellet heaters - Determination of installation requirements and construction components ⁴⁰	Sin información	Sin información

Fuente: Elaboración propia en base a revisión normativa

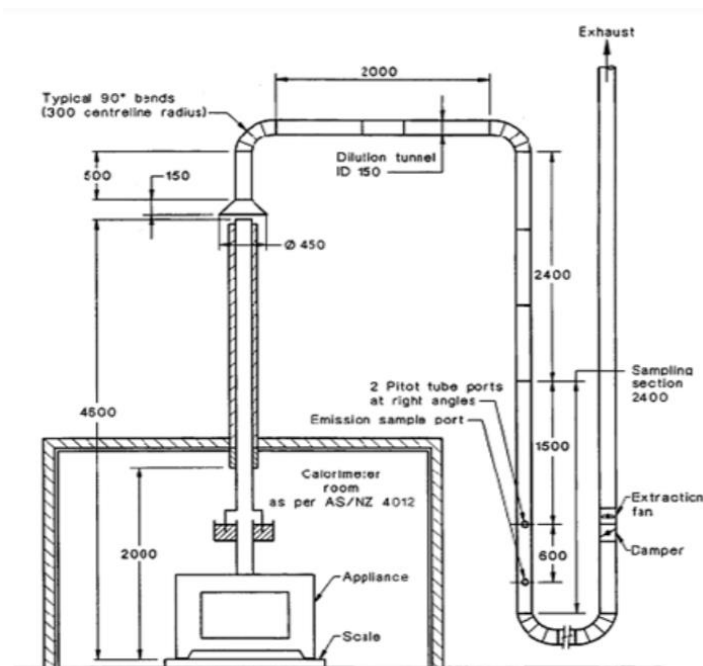
Las principales características del procedimiento de prueba de AS / NZS 4012 son:

- Cálculo de la masa de combustible según el volumen de la cámara de combustión (16,5% de el volumen disponible de la cámara de combustión se define como "volumen nominal de carga de combustible de prueba")
- Se utiliza leña sin corteza (se permiten maderas duras y blandas)
- Longitud de las piezas de leña calculada según las dimensiones de la cámara de combustión
- Se define la sección transversal de cada pieza de leña (> 75 mm y <110 mm)

En la siguiente figura se muestra una descripción de las instalaciones requeridas. Como se observa, además del túnel de dilución para determinar la concentración de material particulado, se muestra un calorímetro que permite determinar la eficiencia térmica mediante el método directo por cuantificar la energía absorbida por agua evitando pérdidas térmicas por la existencia del calorímetro.

⁴⁰ Esta norma se menciona como documento de referencia en AS/NZS 4886:2007, pero no se encontró el alcance o exclusiones de la misma.

Figura 39. Infraestructura de ensayo según normativa australiana



Fuente: (IEA Bioenergy, 2018)

3.3.4. IMPACTO

En (Equipment Energy Efficiency (E3), 2021) se indica que no es posible minimizar la emisión de material particulado, o maximizar la eficiencia por separado, sino que debe darse un compromiso y retroalimentación en el diseño, considerando ambos objetivos.

Respecto de la evolución de las tecnologías, en (Equipment Energy Efficiency (E3), 2021) se menciona que versiones más antiguas tenían un amplio nivel de control sobre el aire de combustión, y que los quemadores podían ser “apagados” usando el control de aire para quemar el combustible durante la noche, para luego ser encendidos con facilidad en la mañana. Los modelos más nuevos tienen considerablemente un menor nivel de control sobre el flujo de aire y, por lo tanto, sobre la tasa de combustión. En algunos casos, particularmente con los últimos quemadores de emisión ultra baja (ULEBS) disponibles en Nueva Zelanda, no hay control de aire. Este nivel reducido de control de aire es una respuesta de diseño para lograr niveles de emisiones de partículas permitidas siempre más estrictas en Australia y Nueva Zelanda.

En la misma publicación citada, se establece que existe una clara reducción en las emisiones con el tiempo, lo que no se aprecia para la eficiencia. Se destaca que los fabricantes ajustan el diseño de sus quemadores para cumplir con las exigencias de emisiones, generalmente incrementando el flujo de aire en el quemador. Sin embargo, un aumento en el flujo de aire aumenta la pérdida de calor en los gases de escape, lo que ha motivado a los fabricantes a hacer cambios para generar ganancias de eficiencia.

3.4. NORUEGA

En (Nordic Ecolabelling, 2021) se da cuenta que en 1989, el consejo Nórdico de Ministros (Nordic Council of Ministers) decidió introducir un ecoetiquetado voluntario oficial, denominado The Nordic Swan Ecolabel. Dentro de los artefactos alcanzados por este etiquetado se encuentran los calefactores que combustionan combustibles sólidos, con potencias de aproximadamente 3 a 15 kW.

3.4.1. CARACTERÍSTICAS DE PROGRAMAS DE MEPS Y ETIQUETADO DE EE

En lo que respecta a etiquetado de productos, para todos los países nórdicos (Suecia, Finlandia, Noruega, Islandia y Dinamarca) existe el sello **Nordic Swan Ecolabel**, que alcanza a estufas a pellets de madera, estufas de azulejos, estufas a leña, chimeneas e inserciones de quemadores de leña. Éste es de tipo declarativo, por lo que no establece clases de eficiencia energética, como ocurre en Chile.

Figura 40. Nordic Swan Ecolabel



Fuente: Morsoe⁴¹

Respecto de los calefactores que obtienen la certificación, en (Nordic Ecolabelling, 2021) se asegura que *"produce bajas emisiones de partículas, carbono gaseoso orgánico/hidrocarburos volátiles (COV) y monóxido de carbono, y tiene alta eficiencia energética"*. Además, los calefactores a pellets de madera deben cumplir con *"requerimientos estrictos de nivel de ruido"*.

Las restricciones establecidas en lo que respecta a emisiones atmosféricas, en el Nordic Swan Ecolabel para calefactores que combustionan combustibles fósiles son:

⁴¹ <https://morsoe.com/en/about-morso/the-environment>

Tabla 53. Límites de emisiones para calefactores que combustonan combustibles sólidos en los países nórdicos

	COV (mg/m ³)	CO (mg/m ³)	Partículas
Válido desde 1/7-2014 a 30/6-2017 Estufas operadas manualmente o insertadas para uso intermitente	100	1.250	3 g/kg (\bar{x} por hasta 4 cargas) 6 g/kg por cada carga
Válido desde 1/7-2017 a 30/6-2019⁴² Estufas operadas manualmente o insertadas para uso intermitente	100	1.250	2 g/kg (\bar{x} por hasta 4 cargas) 5 g/kg por cada carga
Chimenea de acumulación de calor operada manualmente	100	1.250	50 mg/m ³
Estufa de sauna operada manualmente	150	1.700	120 mg/m ³
Estufa a pellets de madera con alimentación automática de pellets de madera	10	200	15 mg/m ³

Fuente: (Nordic Ecolabelling, 2021)

Luego, la eficiencia a carga nominal, corresponde a:

- 83% para chimeneas de acumulación de calor operada manualmente, según EN15250.
- 60% para estufas de sauna manualmente operadas, según EN15281.
- 76% para estufas operadas manualmente o chimeneas insertadas para operación intermitente, según EN13240/EN13229.
- 87% para estufas a pellets de madera con alimentación automática, según, EN14785.

Finalmente, se impone que los calefactores a pellets de madera con alimentación automática no pueden exceder los 50 d(B)A durante la operación normal.

Junto con lo anterior, existen requerimientos oficiales para emisiones de material particulado en Noruega, estableciéndose para calefactores cerrados, como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 54. Límites para las emisiones de calefactores, Noruega

Calefactores cerrados	Partículas, valor medio	Método de ensayo
Con convertidor catalítico	5 g/kg (valor medio por hasta 4 cargas)	NS 3058, NS 3059
Con otra tecnología	10 g/kg (cada carga individual)	NS 3058, NS 3059

Fuente: (Nordic Ecolabelling, 2021)

⁴² Luego de sucesivas modificaciones, se establece la vigencia de estos parámetros hasta el 31 de diciembre de 2023.

Además de lo anterior, de una revisión en la web de la Dirección de Recursos Hídricos y Energía de Noruega (NVE, Norges vassdrags- og energidirektorat) es posible apreciar que, a pesar de no ser miembro de la Comunidad Europea, en Noruega se adoptan regulaciones de ese bloque de países⁴³. En particular, para el caso de calefactores a combustibles sólidos, se adopta la Directiva 2009/125/CE⁴⁴ y el Reglamento (UE) 2015/1185⁴⁵, que se aplican a “aparatos de calefacción local de combustible sólido con una potencia calorífica nominal igual o inferior a 50 kW”, y exigen:⁴⁶

Tabla 55. Exigencias de ecodiseño de la Comunidad Europea, para calefactores a combustibles sólidos

Equipo	Valores a cumplir (1)				
	Eficiencia energética estacional (%) ⁴⁷	Partículas (2)	COV (mg/Nm ³)	CO (mg/Nm ³)	NOx (mg/Nm ³)
Abierto	≥30	≤50 mg/Nm ³ (HF) ≤6 g/kg (DT)	≤120	≤2000	≤200 para biomasa y ≤300 para combustibles sólidos fósil
Cerrado (estufa)	≥65	≤ 40 mg/Nm ³ (HF) ≤ 5 g/kg (DT) ≤ 2,4 g/kg para biomasa y ≤ 5 g/kg fósiles (UK)	≤120	≤1500	
Cerrado con pellets de madera	≥79	≤ 20 mg/Nm ³ (HF) ≤ 2,5 g/kg (DT) ≤ 1,2 g/kg (UK)	≤60	≤300	
Cocinas	≥65	40 mg/Nm ³ (HF) ≤ 5 g/kg (DT) ≤ 2,4 g/kg para biomasa y ≤ 5 g/kg fósiles (UK)	≤120	≤1500	

43 <https://www.subrei.gov.cl/acuerdos-comerciales/acuerdos-comerciales-vigentes/efta>

44 DIRECTIVA 2009/125/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 21 de octubre de 2009 por la que se insta un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía

45 REGLAMENTO (UE) 2015/1185 DE LA COMISIÓN de 24 de abril de 2015 por el que se aplica la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico aplicables a los aparatos de calefacción local de combustible sólido

46 Las emisiones (partículas, COV, CO y NOx) se determinan a potencia calorífica nominal, expresadas en mg/m³ de gas de combustión seco calculado a 273 K y 1 013 mbar con un contenido de O₂ del 13 %. Para partículas también se acepta la media ponderada de la emisión de partículas con hasta cuatro índices de combustión, expresada en g/kg de materia seca.

47 Se define en el Reglamento como la “relación entre la demanda de calefacción de espacios, suministrada por un aparato de calefacción local de combustible sólido, y el consumo anual de energía necesario para satisfacer dicha demanda, expresada en porcentaje”

Equipo	Valores a cumplir (1)				
	Eficiencia energética estacional (%) ⁴⁷	Partículas (2)	COV (mg/Nm ³)	CO (mg/Nm ³)	NOx (mg/Nm ³)
<p>(1) Todos los valores de emisiones están referidos a un contenido de oxígeno del 13%. 1,4 mg/Nm³ de emisión al 13% de oxígeno equivale a 1 mg/Nm³ de emisión al 10% de oxígeno.</p> <p>(2) Para partículas se fijan valores en distintas unidades porque el Reglamento reconoce tres métodos de medición de partículas (HF, DT, UK). Solo es preciso demostrar que se cumple con uno de ellos.</p>					

Fuente: IDAE⁴⁸

Junto con lo anterior, en el Reglamento Delegado (UE) 2015/1186⁴⁹ se establecen las clases de eficiencia energética para este tipo de productos⁵⁰, las que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 56. Clases de eficiencia energética establecidas en la Comunidad Europea

Clase de eficiencia energética	Índice de Eficiencia Energética (EEI)
A++	EEI ≥ 130
A+	107 ≤ EEI < 130
A	88 ≤ EEI < 107
B	82 ≤ EEI < 88
C	77 ≤ EEI < 82
D	72 ≤ EEI < 77
E	62 ≤ EEI < 72
F	42 ≤ EEI < 62
G	EEI < 42

Fuente: Reglamento Delegado (UE) 2015/1186

El EEI "se calculará como la eficiencia energética estacional de calefacción de espacios en modo activo ($\eta_{s,on}$) corregida en el caso de los aparatos de calefacción local que utilizan biomasa como combustible preferido por un factor que tenga en cuenta el carácter renovable del combustible preferido, y corregida por las contribuciones que representan los controles de temperatura, el consumo auxiliar de electricidad y el consumo de energía del piloto permanente. El índice de eficiencia energética (EEI) se expresa como una cifra equivalente a su cifra porcentual."

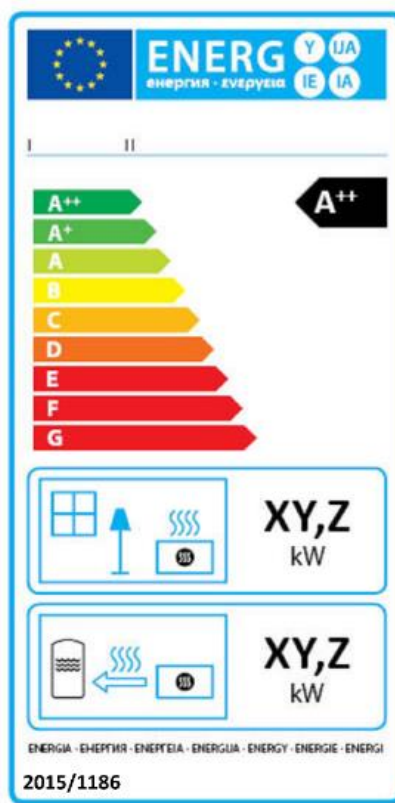
Como se aprecia de la observación de la Tabla 56, el etiquetado es de tipo comparativo, y la etiqueta se muestra en la figura siguiente:

48 https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/idae/tecnologias/energias_renovables/biomasa/4.-ficha_resumen_reglamento_2015-1185_estufas_ecodiseno.pdf

49 Reglamento Delegado (UE) 2015/1186 de la Comisión, de 24 de abril de 2015, por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo al etiquetado energético de los aparatos de calefacción local

50 Según se da cuenta en (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2021), el etiquetado también es adoptado por Noruega.

Figura 41. Etiqueta de EE para calefactores de la Comunidad Europea



Fuente: Reglamento Delegado (UE) 2015/1186

3.4.2. OFERTA DEL MERCADO

Los modelos disponibles en el mercado noruego, que presentan mejores desempeños en lo que respecta a emisiones de material particulado son recogidas por el proyecto Top Ten⁵¹, y presentadas en la web de Energi Smart⁵². La información presentada a continuación está actualizada al 9 de junio de 2021:

Tabla 57. Calefactores a leña más eficientes ofrecidas en el mercado noruego

Marca - Modelo	Tipo	Potencia (kW)	Eficiencia (%)	Emisión de MP (mg/m ³)
Contura – 610 Style	Estufa a leña	6	86	11
Contura – 690 Style	Estufa a leña	6	86	11
Contura – 620 Style	Estufa a leña	6	86	11
Scan – 5003 FR/FL	Chimenea - inserto	5,7	85	11

⁵¹ <https://www.topten.eu/private/page/hacks>

⁵² Energi Smart es un proyecto de la Asociación de Conservación de la Naturaleza (Naturvernforbundet) que tiene como objetivo facilitar la toma de decisiones energéticamente inteligentes en los hogares, para productos de producción de frío y calor. (<https://www.energismart.no/om-energismart/category884.html>)

Marca - Modelo	Tipo	Potencia (kW)	Eficiencia (%)	Emisión de MP (mg/m ³)
Scan – 5003-S	Chimenea - inserto	5,7	85	11
Scan – 5001	Chimenea - inserto	5	85	16
Scan – 80	Estufa a leña	6	84	6
Scan – 80 HØY	Estufa a leña	6	84	6
Scan – 1008	Chimenea - inserto	6	84	6
Scan – 1008-S	Chimenea - inserto	6	84	6
Scan – 1005	Chimenea - inserto	6	84	25
Lotus – MAESTRO 152	Estufa a leña acumuladora de calor	6	83,5	27
Lotus – MAESTRO	Estufa a leña acumuladora de calor	6	83,5	31,1
Jøtul – F-137	Estufa a leña	4,7	83	5
Jøtul – F-136	Estufa a leña	4,7	83	5
Jøtul – F-135	Estufa a leña	4,7	83	5
Jøtul – F-134	Estufa a leña	4,7	83	5
Jøtul – F-400 Eco	Estufa a leña	7	83	6
Wiking – Mini 4	Estufa a leña	4,5	83	6
Jøtul – F 105B	Estufa a leña	4,5	83	7
ILD – 8	Estufa a leña	4,7	83	9
ILD – 7	Estufa a leña	4,7	83	9
Scan – 5002	Chimenea - inserto	4,8	83	18
Jøtul – F 162	Estufa a leña	5,9	83	20
Termatech – TT21RS	Estufa a leña	5	83	24
Scan – 5004 FRL	Chimenea - inserto	7,8	83	25
Scan – 5005 FRL	Chimenea - inserto	10	83	28
Scan 65-1	Estufa a leña	6	82	20

Fuente: Energi Smart⁵³

En la misma página web se encuentra información de los modelos más eficientes de estufas a pellets de madera actualizada al 14 de junio de 2021, lo que se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 58. Calefactores a pellets de madera más eficientes ofrecidas en el mercado noruego

Marca - Modelo	Potencia (kW)	Eficiencia (%)	Emisión de MP (mg/m ³)
Aduro - P1	8	91	15
Heta - SCAN - LINE GREEN 200	9	91	18
FerLux - MUSA 6	6,1	90	16
Heta - SCAN - LINE GREEN 100	5,71	90	29
Eva Calor - KAREN	9,5	85,5	19

⁵³ <https://www.energismart.no/vedovn/category1074.html>

Fuente: Enegi Smart⁵⁴

3.4.3. METODOLOGÍA DE ENSAYO

A nivel de Europa, la norma común correspondía a la EN 13240 donde se establecían normativas de seguridad, eficiencia y emisiones de CO, pero no de partículas, luego, fue reemplazada por UNE-EN 16510-1:2019⁵⁵. Por esto, algunos países han desarrollado métodos de medición entre los cuales se tienen el método de ensayo de partículas austriaco y alemán (DIN+), el método de ensayo noruego (NS3058-1/2) y el método de prueba de partículas del Reino Unido. Los dos métodos de medición de partículas más utilizados en Europa son el estándar noruego para calefactores de madera cerrados (NS3058-1 / 2) que toman muestras de partículas en un túnel de dilución y el esquema de certificación DIN + que toma muestras directamente en la chimenea. Estos dos métodos darán como resultado una variación en los niveles de emisión de partículas medidos, principalmente debido a la variación en la masa de materia condensable recolectada debido a diferencias en los procedimientos de prueba y la temperatura del filtro.

Los fabricantes de los calefactores deben entregar una lista con todos los elementos contenidos en el hogar, estableciendo el tipo de material, así como los planos con medidas. Los materiales y la construcción deben cumplir con lo siguiente:

Tabla 59. Normas de ensayo para calefactores que combustionan combustibles sólidos en Noruega

Norma	Objeto y campo de aplicación	Alcance	Exclusiones
EN 16510-1:2019 - Equipos de calefacción residencial alimentados con combustible sólido. Parte 1: Requisitos generales y métodos de ensayo.	<p>Especifica los requisitos relativos al diseño, fabricación, construcción, seguridad y a las prestaciones (eficiencia y emisiones), de los equipos alimentados con combustible sólido.</p> <p>Respecto a emisiones, cubre los métodos de ensayo para determinación de las emisiones de CO, NOx, OGC y partículas.</p>	Equipos de calefacción residenciales alimentados con combustibles sólidos	<p>Equipos provistos con caldera diseñados a trabajar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - a temperaturas superiores a 110 °C y/o a presiones mayores de 3 bar; - en contacto directo con agua caliente sanitaria. <p>Equipos que trabajen con sistemas de ventilación que tengan presiones</p>

54 [https://www.energismart.no/pellets de maderasavn/category1075.html](https://www.energismart.no/pellets-de-maderaavn/category1075.html)

55 EN 16510-1:2019 - Equipos de calefacción residencial alimentados con combustible sólido. Parte 1: Requisitos generales y métodos de ensayo.

Norma	Objeto y campo de aplicación	Alcance	Exclusiones
			<p>de trabajo inferiores a - 15 Pa con respecto a la atmosférica, en la estancia donde vayan a ser instalados</p> <p>Equipos que estén previstos para soportar la carga de la chimenea.</p>
<p>EN13229 - Aparatos insertables, incluidos los hogares abiertos, que utilizan combustibles sólidos. Requisitos y métodos de ensayo.</p>	<p>Especifica los requisitos relativos al diseño, a la fabricación, a la construcción, a la seguridad y a las prestaciones (rendimiento y emisiones), así como a las instrucciones y al marcado</p>	<p>Aparatos alimentados manualmente</p>	<p>Aparatos con aire de combustión asistido o impulsado por ventilador</p>
<p>EN14785 - Aparatos de calefacción doméstica alimentados con pellets de madera. Requisitos y métodos de ensayo</p>	<p>Especifica los requisitos relativos al diseño, fabricación, montaje, seguridad, prestaciones (rendimiento y emisiones), instrucciones y marcado</p>	<p>Aparatos de calefacción doméstica que utilizan pellets de madera, y alimentados mecánicamente hasta una potencia calorífica nominal de 50 kW</p>	<p>No contempla los aparatos desprovistos de alimentación mecánica que utilizan combustibles minerales sólidos, briquetas de turba y leños de madera naturales o prefabricado</p>
<p>EN15250 - Aparatos con liberación lenta de calor alimentados con combustibles sólidos. Requisitos y métodos de ensayo</p>	<p>Especifica requisitos relativos al diseño manufactura, construcción, seguridad y prestaciones (rendimiento y emisión), instrucciones y marcad</p>	<p>Aparatos con liberación lenta de calor que queman intermitentemente combustible alimentado manualmente y que tienen una capacidad de almacenamiento térmico tal que pueden proporcionar calor durante un</p>	<p>Aparatos alimentados mecánicamente, a los aparatos que tienen aire de combustión asistido o impulsado por un ventilador, ni a los aparatos con caldera</p>

Norma	Objeto y campo de aplicación	Alcance	Exclusiones
		periodo declarado de tiempo después de que el fuego se haya apagado	
EN15821 – Estufas de sauna de disparo múltiple que combustionan troncos de madera natural. Requisitos y métodos de ensayo	Especifica los requisitos relativos al diseño, fabricación, construcción, seguridad y rendimiento (eficiencia y emisión)	Estufas de sauna de múltiples disparadores en las que las piedras de calefacción están separadas y se calientan indirectamente por el fuego y los gases de combustión y que pueden ser reabastecidas con varias cargas de combustible	Estufas de sauna alimentadas mecánicamente, estufas de sauna que tienen un ventilador para asistir el aire de combustión, estufas de sauna equipadas con una chimenea incorporada, o estufas de sauna que tienen conexión eléctrica.

Fuente: Elaboración propia en base a consulta a normas

Complementariamente, en Noruega se cuenta con los siguientes estándares para el ensayo de productos:

- NS 3058-1 - Enclosed wood heaters - Smoke emission - Part 1: Test facility and heating pattern
- NS 3058-2 - Enclosed wood heaters - Smoke emission - Part 2: Determination of particulate emission
- NS 3059 - Enclosed wood heaters - Smoke emission – Requirements

Adicionalmente, en (Standard Norge, 2017) se establece que los métodos de ensayo noruegos han sido incluidos en la regulación europea.

3.4.4. IMPACTO

Para la evaluación de la pertinencia del etiquetado Nordic Swan Ecolabelling, se realizan estudios RPS, como una herramienta para analizar si:

- El problema medioambiental es relevante (R),
- Hay un potencial de mejora (P)
- Un titular de licencia tiene las medidas de control establecidas para lograr estas mejoras ambientales (S).

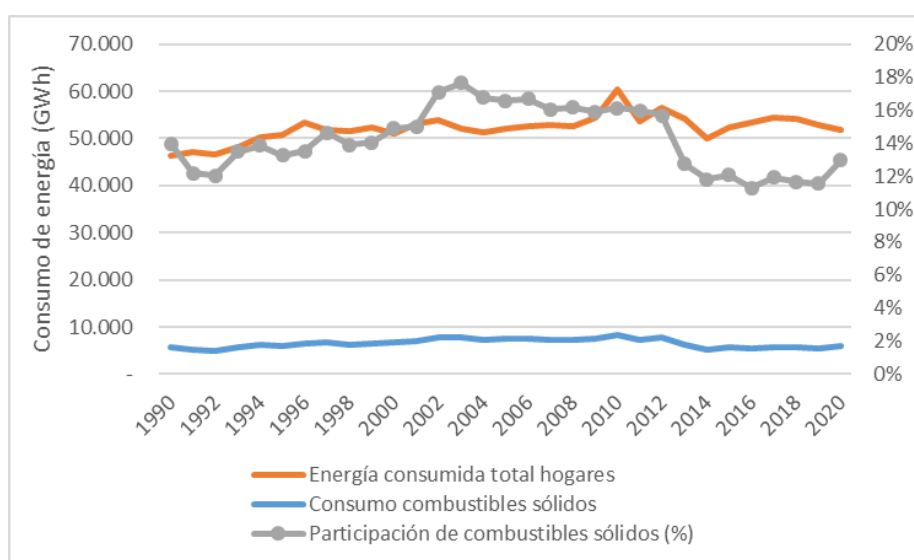
En (Nordic Ecolabelling, 2021) se da cuenta que en Noruega se realizó un estudio de ciclo de vida, considerando el proceso de extracción y preparación del combustible sólido, la fabricación y operación de los artefactos, concluyendo que la fase de operación es la que representa más del 60% del impacto medioambiental, y que, además, se destaca que por

el recambio de artefactos con la nueva tecnología, pueden mejorar parámetros medioambientales estudiados entre un 28 y un 80%.

Respecto del mercado de calefactores que combustionan combustibles sólidos, en (Nordic Ecolabelling, 2021) se da cuenta que su venta se ha estancado, lo que puede deberse a que bombas de calor han reemplazado parte del parque.

Al 2009, los hogares noruegos consumían en calefacción, aproximadamente, 30 TWh, de los cuales 6 TWh correspondían a la quema de combustibles sólidos. A esa fecha se contabilizaban 1.280.000 artefactos que combustionan combustibles sólidos, de los cuales cerca del 52% (660.000) usaban tecnología “antigua”, que producen aproximadamente un 90% más de partículas en su operación que versiones con nueva tecnología. La situación actual de consumo energético y tenencia de artefactos se muestra en las figuras siguientes:

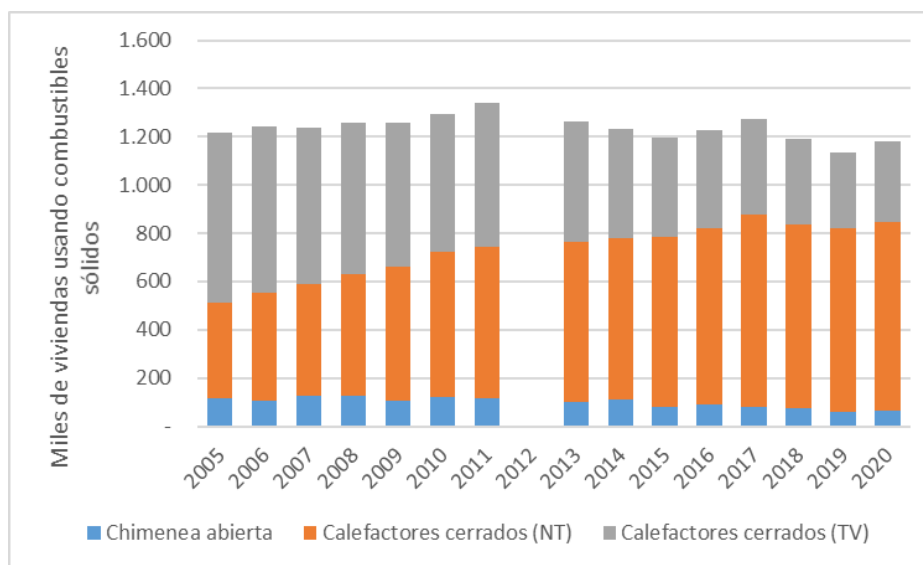
Figura 42. Consumo de energía de hogares en Noruega



Fuente: Statistisk sentralbyrå⁵⁶

56 <https://www.ssb.no/en/statbank/table/11563/tableViewLayout1/>

Figura 43. Miles de hogares que usan calefactores con combustibles sólidos en Noruega



Fuente: Statistisk sentralbyrå⁵⁷

Nota: NT corresponde a nueva tecnología, producidos después de 1998
TV: corresponde a tecnología antigua, producidos antes de 1998

Tras una revisión en el Instituto Noruego de Salud Pública, no se encuentra información respecto del impacto, así como artículos académicos que tratan el tema de emisiones de calefactores que combustionan combustibles sólidos, no se encuentra una evaluación del impacto del etiquetado, aunque sí se destaca la importancia de la renovación tecnológica.⁵⁸

Al realizar la consulta directa a NVE se entrega como referencia de información de la Comunidad Europea⁵⁹, donde se indica que con un calentamiento eficiente de agua y espacios, los consumidores europeos pueden ahorrar hasta €60 billones y 600 TWh, pero se refiere a todos los tipos de calefactores y no específicamente a los que combustionan combustibles sólidos.

3.5. SUIZA

Con el fin de contar con una mejor caracterización de la situación internacional, se revisa el caso de Suiza.

⁵⁷ <https://www.ssb.no/en/statbank/table/09703/tableViewLayout1/>

⁵⁸ <https://www.fhi.no/en/el/environment-and-health/air-pollution/wood-burning/>

⁵⁹ https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/energy-efficient-products/space-and-water-heaters_en

3.5.1. CARACTERÍSTICAS DE PROGRAMAS DE MEPS Y ETIQUETADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

La Ordenanza para el Control de Emisiones Luftreinhalte-Verordnung (LRV)⁶⁰ es la normativa que indica los límites de emisiones para distintos tipos de sistemas, incluyendo aquéllos que combustionan leña y pellets de madera.

La LRV indica que, entre otros equipos e instalaciones de combustión, las calderas o calefactores con una potencia calorífica de hasta 350kW y quemadores de pellets de madera con una potencia de hasta 70kW solo podrán ser colocados en el mercado si se demuestra la conformidad con los siguientes requerimientos:

Tabla 60. Requerimientos de emisiones para instalaciones que utilizan leña o carbón

Tipo de instalación	Estándar europeo relevante	CO (mg/m ³)	Dust (mg/m ³)
Calderas manuales a leña o carbón	EN 303-5 o EN 12809	800	50
Calderas con alimentación automática, y que utilizan chips de madera o carbón.	EN 303-5 o EN 12809	400	60
Calderas con alimentación automática y que utilizan pellets de madera	EN 303-5 o EN 12809	300	40
Cocinas residenciales que utilizan combustibles sólidos.	EN 12815	3000	90
Cocinas de calefacción centralizada que utilizan combustibles sólidos	EN 12815	3000	120
Artefactos insertados y de llama abierta, que utilizan combustibles sólidos	EN 13229	1500	75
Calefactores de habitación que utilizan combustibles sólidos	EN 13240	1500	75
Calefactores de habitación que utilizan pellets de madera	EN 14785	500	40
Artefactos de calefacción lenta, que utilizan combustibles sólidos	EN 15250	1500	75
Quemadores de pellets de madera para calderas pequeñas	EN 15270	Class 4	Class 4
Contenido de oxígeno de referencia			
Para instalaciones que utilizan madera: 13% vol.			
Para instalaciones que utilizan carbón: 7% vol.			

Fuente: LRV

Para demostrar la conformidad con los requerimientos, se requiere lo siguiente:

- Un reporte de una entidad competente, confirmando que el equipo cumple con los requerimientos.

⁶⁰ https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1986/208_208_208/de

- Una declaración del fabricante o importador, indicando que la instalación será puesta en el mercado de conformidad con el tipo ensayado (declaración de conformidad), incluyendo los siguientes detalles:
 - Nombre y dirección del fabricante o importador
 - Descripción de la instalación o equipo
 - Provisiones aplicables de acuerdo a la normativa
 - Nombre y dirección de la entidad certificadora y número del certificado de conformidad.
 - Nombre y función de la persona que firma la declaración de conformidad.
- El fabricante deberá poner en cada instalación o equipo una placa o etiqueta incluyendo la información requerida por el estándar europeo relevante, además de lo siguiente:
 - Nombre del fabricante
 - Designación del tipo o número de modelo
 - Número del estándar europeo relevante bajo el cual el equipo fue testeado
 - Potencia calorífica consumida, potencia calorífica entregada y superficie de calefacción o potencia entregada en kW
 - La placa de las instalaciones de leña o carbón deberán también indicar los valores de emisión de CO y polvo en mg/m³.

La aplicación de esta Ordenanza está a cargo de los cantones, mientras que la confederación velará por una vigilancia del mercado y el control de los combustibles.

El modelo de declaración de prestaciones según la ordenanza de productos de la construcción es el siguiente:

Figura 44. Modelo de declaración de productos. Vista frontal.





Holzenenergie Schweiz
Neugasse 6
8005 Zürich
Telefon 044 250 88 11
Fax 044 250 88 22
info@holzenenergie.ch
www.holzenenergie.ch
www.energie-schweiz.ch

Kontaktstelle Qualitätssiegel - Moritz Dreher – T 044 250 88 16 – dreher@holzenenergie.ch

Für folgende Produkte

EN12809 - Heizkessel für feste Brennstoffe - Nennwärmeleistung bis 50 kW
EN12815 - Herde für feste Brennstoffe
EN13229 - Kamineinsätze einschliesslich offener Kamine
EN13240 - Raumheizer für feste Brennstoffe
EN14785 - Pelletheizungen
EN15250 - Speicherfeuerstätten


Leistungserklärung gemäss Verordnung III der Verordnung über Bauprodukte SR933.01

Produktbezeichnung	Musterofen 2000
Ihre Referenznummer	XYZ
Verwendungszweck <small>(gemäß harmonisierter Norm)</small>	Pelletfeuerung
Wamwasserbereiter	<input type="checkbox"/> mit <input checked="" type="checkbox"/> ohne
Hersteller/Vertreiber <small>(Adresse)</small>	Musterofen AG Musterstrasse 8005 Zürich
Bevollmächtigter <small>(Name)</small>	-
System zur Bewertung der Leistungsbeständigkeit des Bauproduktes gemäss Anhang 2 BauPV	System 3
Notifizierte Prüfstelle <small>(Adresse inkl. Nr.)</small>	Nr. 1234568 TUV SÜD Grazer Strasse 8600 Bruck an der Mur Österreich
Prüfbericht-Nr.	RR 7950:95

Harmonisierte Norm <small>(Referenznummer - Ausgabejahr)</small>	EN14785:2007
Brandsicherheit	Brandverhalten A1
Sicherheitsabstand zu brennbaren Materialien <small>(Für Kamineinsätze, offene Kamine, Dämmdichte)</small>	Abstand oder Dämmdichte Hinten 10 cm Abstand oder Dämmdichte Seiten 10 cm Abstand oder Dämmdichte Decke 10 cm Abstand oder Dämmdichte Front 10 cm Abstand oder Dämmdichte Boden 10 cm
Brandgefahr durch herausfallen von brennendem Brennstoff	Anforderungen erfüllt
Emissionen bei Verbrennung	CO (bez. 13 Vol-% O ₂) mg/m ³ Staub (bez. 13 Vol-% O ₂) mg/m ³
Oberflächentemperatur	Erfüllt

Fuente: EnergieHolz Schweiz

Figura 45. Modelo de declaración de productos. Vista posterior.

 Holzenergie
SCHWEIZ

Seite 2

Produktbezeichnung	Musterofen 2000
Ihre Referenznummer	XYZ
Elektrische Sicherheit	Erfüllt
Reinigbarkeit <small>(nur für EN 14785 Pelletöfen auszufüllen)</small>	Erfüllt
Wasser-Betriebsdruck <small>(nur ausfüllen für Geräte mit Wasserbereitung)</small>	max. 1.9 bar
Abgastemperatur bei Nennwärmeleistung <small>(nur für EN 14785/1520 auszufüllen)</small>	T 200 C°
Mechanische Festigkeit zum Tragen des Schornsteins	NPD
Freisetzung von gefährlichen Stoffen	Anforderungen erfüllt
Nennwärmeleistung	10 kW
Raumwärmeleistung	8 kW
Wasserwärmeleistung <small>(nur ausfüllen für Geräte mit Wasserbereitung)</small>	15 kW
Wirkungsgrad	η 78 %
Zulässige Dauereinsatzfähigkeit <small>(nur für EN 14785 auszufüllen)</small>	Erfüllt
Wärmespeicherfähigkeit <small>(nur für EN 15200 auszufüllen)</small>	6.1 h

Die Leistung des vorstehenden Produkts entspricht der erklärten Leistung. Für die Erstellung der Leistungserklärung im Einklang mit der Verordnung ist allein der obengenannte Hersteller verantwortlich:

Ort und Datum Zürich, 1.1.2015

Firmenstempel Musterofen
8005 Zürich

Unterschrift Heinz Mustermann
Name und Funktion in Druckschrift Qualitätsverantwortlicher

Fuente: EnergieHolz Schweiz

En cuanto a requerimientos energéticos, la Ordenanza sobre los Requisitos de Eficiencia Energética de las Instalaciones, Vehículos y Aparatos Producidos en Serie (*Verordnung über die Anforderungen an die Energieeffizienz serienmässig hergestellter Anlagen, Fahrzeuge und Geräte*), denominada como Energieeffizienzverordnung, EnEV, establece en su Anexo 1.19, los requisitos para la eficiencia energética y la comercialización y entrega de calefactores de combustibles sólido.

Para la comercialización, se establece que a partir del 1 de enero de 2022 se podrán comercializar y suministrar los calefactores de combustible sólido con una potencia térmica nominal no superior a los 50 kW solamente si cumplen los requisitos establecidos en el artículo 3 y el anexo II del Reglamento UE 2015/1185. Estos requerimientos se mencionan en la sección 3.4.1 de este documento.

3.5.2. OFERTA DE MERCADO

Como se vio en la Tabla 60, los distintos artefactos que tienen requerimientos sobre emisiones son evaluados de acuerdo a distintos estándares de la Unión Europea. La Asociación Suiza para la Energía de la Madera (Schweizerische Vereinigung für Holzenergie⁶¹) cuenta con el registro de los calefactores que han completado la declaración de desempeño. Este registro considera distintas categorías de acuerdo al estándar utilizado:

- EN 12815 Cocinas para combustibles sólidos
- EN 13229 Insertos para chimeneas, incluyendo chimeneas abiertas
- EN 13240 Calefactores para combustibles sólidos
- EN 14785 aparatos de calefacción para el hogar que funciona con pellets de madera
- EN 15250 aparatos de liberación lenta de calor que funcionan con combustibles sólidos)

Los calefactores que se encuentran en este registro son los siguientes:

Tabla 61. Calefactores y otros equipos registrados para Suiza

Categoría	Modelo	Potencia (kW)	Emisiones CO (mg/m ³)	Emisiones polvo (mg/m ³)	Eficiencia	Clasificación
12815	VestoWIN Klassik VEK 170	16,9	1253	43	85%	Cocina
12815	VestoWIN Klassik VEK 220	21,5	992	54	84%	Cocina
12815	VestoWIN Premium VEP 200/202	19,9	1195	26	80%	Cocina
13240	Jøtul F 3	6	625	59	78%	Calentador habitación
13240	Jøtul F 105 B, Jøtul F 105 LL, Jøtul F 105 SL	5	1183	7	83%	Calentador habitación
13240	Jøtul F 162, Jøtul F 164, Jøtul F 166/ Jøtul F 162 C, Jøtul F 166 C	5	792	20	83%	Calentador habitación
13240	Jøtul F 163, Jøtul F 165, Jøtul F 167/ Jøtul F 163 C, Jøtul F 167 C	5	1242	20	82%	Calentador habitación
13240	Jøtul F 262, Jøtul F 262 S	5	792	20	83%	Calentador habitación
13240	Jøtul F 263, Jøtul F 263 S	5	1242	20	82%	Calentador habitación
13240	Jøtul F 305 B, Jøtul F 305 LL, Jøtul F 305 SL	7	786	7	79%	Calentador habitación

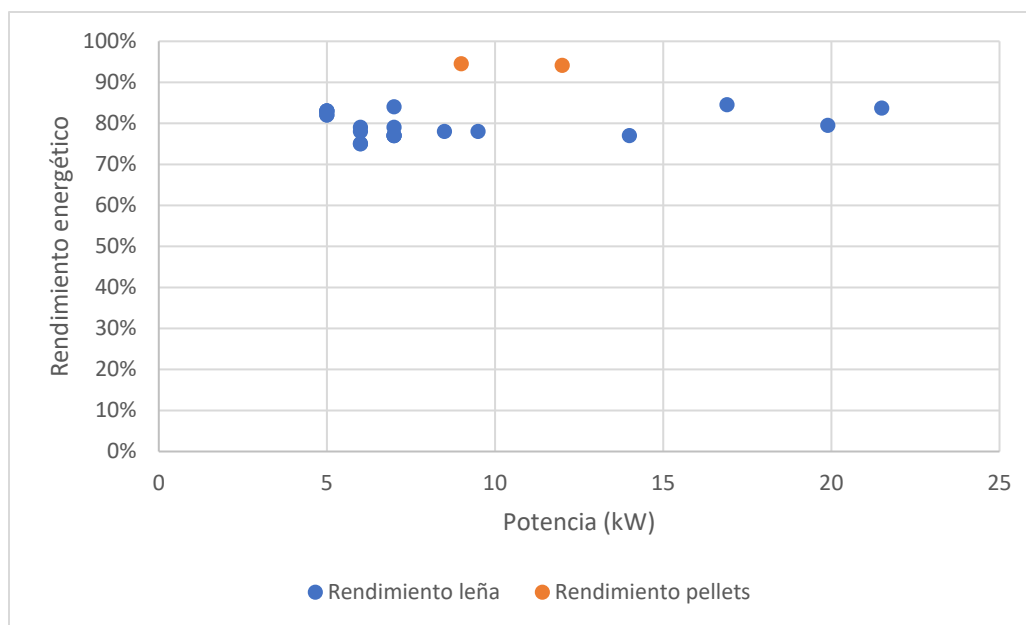
61 <https://www.holzenergie.ch/home.html>

Categoría	Modelo	Potencia (kW)	Emisiones CO (mg/m ³)	Emisiones polvo (mg/m ³)	Eficiencia	Clasificación
13240	Jøtul F 371 DE, F 373 DE, Jøtul F 374, Jøtul F 377	6	1195	36	75%	Calentador habitación
13240	Jøtul F 400	7	1500	66	84%	Calentador habitación
13240	Jøtul F 481, Jøtul F 483	6	967	20	75%	Calentador habitación
13240	Jøtul F 500	8,5	1250	57	78%	Calentador habitación
13240	Jøtul F 600	9,5	1250	35	78%	Calentador habitación
13240	Jøtul FS 73	7	884	14	77%	Calentador habitación
13240	Jøtul FS 74	7	884	14	77%	Calentador habitación
13240	Jøtul FS 91, Jøtul FS 92	6	967	20	79%	Calentador habitación
13240	Jøtul F 166	14	1500	17	77%	Calentador habitación
13240	Jøtul F 173	7	884	14	77%	Calentador habitación
14785	FireWIN 090 FWK/FWP/FWE	9	55	16	95%	Calefactor pellets de madera
14785	FireWIN 120 FWK/FWP/FWE	12	48	20	94%	Calefactor pellets de madera

Fuente: HolzEnergie Schweiz

Al analizar los distintos tamaños y eficiencias de los calefactores, se obtiene lo mostrado en la figura siguiente.

Figura 46. Rendimiento de calefactores comercializados en Suiza en función de la potencia



Fuente: Elaboración propia

Al igual que para los casos de Estados Unidos y Canadá, se aprecia que no existe una correlación entre el tamaño de los calefactores y una mejora en el rendimiento; también se aprecia que los calefactores a pellets de madera tienen un mejor rendimiento que los de leña.

3.5.3. METODOLOGÍA DE ENSAYO

Las metodologías de ensayo para Suiza corresponden a las normativas europeas, definidas en la sección 3.4.3, Tabla 59.

3.5.4. IMPACTO

El uso de leña en Suiza para calefacción fue casi totalmente desplazado por el petróleo entre fines de los años 40 y comienzos de los años 70, en donde la proporción de la madera en el consumo total de energía era solo de un 1% y solo el 20% de la madera talada en el bosque se destinaba directamente a la producción de energía.

Desde la década de 1990, el uso de la dendroenergía ha vuelto a aumentar gracias a los avances tecnológicos, pero también a las medidas específicas de la política energética suiza y a la creciente sensibilidad de la población por las cuestiones medioambientales. En la actualidad, la dendroenergía contribuye con un 4,2% de la demanda total de energía y un 10,6% de la demanda de calefacción.

De acuerdo a la Oficina Federal para el Medio Ambiente (FOEN⁶²), la experiencia con la implementación de la normativa LRV muestra que incluso con nuevos sistemas y

62 <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-42138.html>

regulaciones, los valores límites no siempre son alcanzados durante la operación normal. La razón de esto según la FOEN, son las deficiencias en el diseño y la operación inadecuada de los sistemas. De acuerdo a un estudio suizo⁶³ las emisiones pueden ser hasta 100 veces mayores si el calefactor no es operado correctamente.

De acuerdo a FOEN, los hornos con una potencia térmica de hasta 70 kW representan un desafío particular. En muchos de los cantones, gracias a los controles ejercidos, fue posible asegurar que los sistemas fueron operados exclusivamente con los combustibles adecuados. Indica que una parte importante de las emisiones se puede asignar a equipos de calefacción pequeños y que, para mejorar esos equipos, se debe tener la obligación de medir las emisiones utilizando un método adecuado, como se hace con los sistemas a diésel.

Cabe mencionar que, en la normativa revisada, existen requerimientos para monitorear las emisiones de diversos equipos como calderas, hornos y otros. Sin embargo, para los calefactores de espacio no se tiene este requerimiento.

3.6. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS INTERNACIONAL

De la revisión de la situación internacional es posible afirmar que, dada la diferencias entre los métodos de ensayo considerados, ya sea para la medición de las emisiones de MP, o bien la determinación de la eficiencia, no es posible extender las conclusiones, respecto de las eficiencias y emisiones de los artefactos presentes en el mercado a la realidad nacional.

A modo de ejemplo de lo anterior, se menciona en (Equipment Energy Efficiency (E3), 2021) que existen diferencias de hasta un 10% de la eficiencia energética obtenida, si es que los ensayos consideran combustibles en base seca y en base húmeda.

Es por la misma razón que no es posible aplicar de manera directa los estándares de eficiencia y emisiones observadas a nivel internacional, a la realidad nacional. Si bien podría evaluarse el grado de cumplimiento de los calefactores nacionales con respecto a normas internacionales, este análisis no entrega elementos relevantes para la discusión, dado que se compararían valores obtenidos con distintas metodologías y, por lo tanto, no comparables.

Métodos de ensayo

A continuación se muestran a modo de resumen las distintas normativas existentes, clasificándolas en seis categorías:

- Métodos de ensayo
 - o Eficiencia energética
 - o Emisiones
 - o Mixta (es decir, el método de ensayo incluye procedimientos para determinación de la eficiencia energética y emisiones)
- Definición de requerimientos mínimos
 - o Eficiencia energética
 - o Emisiones
 - o Mixtas (es decir, los requerimientos de eficiencia energética y emisiones es establecido en el mismo documento)

63 <https://www.clean-heat.eu/en/actions/info-material/download/background-paper-residential-wood-burning-3.html>

Los documentos que se referencian a continuación pueden pertenecer a más de una categoría.

El análisis comparativo entre los diferentes estándares en ensayo para los países requeridos incluye:

- Métodos de medición que evalúan las emisiones y la eficiencia (por ejemplo, medición de partículas, determinación de la eficiencia térmica)
- Procedimiento de prueba (por ejemplo, cargas de combustible, carga de combustible, tasas de combustión)
- Características del combustible (por ejemplo, especies de combustible, dimensiones del combustible, contenido de humedad del combustible)
- Condiciones de funcionamiento (por ejemplo, condiciones de tiro, temperatura ambiente)

Tabla 62. Métodos de ensayo para eficiencia energética y material particulado en los territorios evaluados

Países	EE	Emisiones
Unión Europea	EN 13240 Calentadores de ambiente alimentados con combustible sólido. Requisitos y métodos de ensayo.	
	UNE-EN 16510-1 Equipos de calefacción residencial alimentados con combustibles sólidos.	
Estados Unidos	Estándar CSA B415.1-10:2010 standard: "Performance Testing of solid-fuel-burning heating appliances. (Opcional)	Método 28 de la EPA "Certification and Auditing of Wood Heaters".
		Método 5G de la EPA, "Determination of Particulate Matter Emissions from Wood Heaters (Dilution Tunnel Sampling Location)"
		Método 5H de la EPA "Determination of Particulate Matter Emissions from Wood Heaters from a Stack Location" – método alternativo
Canadá	Estándar CSA B415.1- 10:2010 standard: "Performance Testing of solid-fuel-burning heating appliances	
Australia / Nueva Zelanda	AS / NZS 4014: 1999: Aparatos domésticos de combustión de combustibles sólidos - Combustibles de prueba <ul style="list-style-type: none"> • 4014.1-Madera dura • 4014.2-Madera blanda Aplica como parte de la metodología de ensayo para emisiones y eficiencia	
	AS/NZS 4012:2014 - Domestic Solid Fuel Burning Appliances - Method for Determination of Power Output and Efficiency.	AS/NZS 4013:2014 - Domestic solid fuel burning appliances—Method for determination of flue gas emission.

Países	EE	Emisiones
	AS/NZS 5078:2007 - Domestic solid fuel burning appliances - Pellet heaters - Determination of power output and efficiency	AS/NZS 4886:2007 - Domestic solid fuel burning appliances - Pellet heaters - Determination of flue gas emission.
Chile		<p>NCH 3173.Of2009 Estufas que utilizan combustibles sólidos – Requisitos y método de ensayo</p> <p>CH28 “Determinación de material particulado y certificación y auditoría de calefactores a leña”</p> <p>CH-5G “Determinación de las emisiones de partículas de calefactores a leña medidas desde un túnel de dilución”</p> <p>CH-5H “Determinación de las emisiones de partículas desde fuentes estacionarias”</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 63. Definición de estándares mínimos para eficiencia energética y material particulado en los territorios evaluados

Países	EE	Emisiones
Unión Europea		Regulaciones ECODesign (entra en vigencia 2022) – regula CO, NOx , HC y MP.
		EN 13240:2001 Calentadores de ambiente alimentados con combustible sólido. Requisitos y métodos de ensayo. (Requerimientos de EE y emisión de CO)
		UNE-EN 16510-1:2018 “Equipos de calefacción residencial alimentados con combustibles sólidos” (reemplaza EN13240)
Estados Unidos		2015 Standards of Performance for New Residential Wood Heaters, New Residential Hydronic Heaters and Forced-Air Furnaces, Subpart AAA
Canadá		CSA B415.1 Performance Testing of Solid Fuel Burning Heating Appliances
Australia / Nueva Zelanda	Nueva Zelanda: National Environmental Standards for Air Quality	
	Australia: AS/NZS 4012:2014	Australia: requerimientos a nivel de unidad estatal

Países	EE	Emisiones
Chile		Decreto 39 de 2012 del Ministerio de Medio Ambiente "Establece Norma de Emisión de Material Particulado, para los Artefactos que Combustionen o Puedan Combustionar Leña y Pellet de Madera"
		Decreto 46 del 2014 del Ministerio de Medio Ambiente "Revisa Norma de Emisión de Material Particulado, para los Artefactos que Combustionen o Puedan Combustionar Leña y Derivados de la Madera, Contendida en el Decreto 39, de 2011"

Fuente: Elaboración propia

Para los métodos de ensayo mencionados en la tabla anterior, a continuación, se muestran algunos detalles de manera resumida los principales parámetros para las metodologías de ensayos:

Tabla 64. Alcance de principales ensayos internacionales

	Criterios de desempeño	Config. de carga	Combustible	Medición MP	Nº mínimo de lotes de ensayo	Masa del lote de prueba
Comunidad Europea (UNE 13240)	CO y eficiencia energética mediante método indirecto	Por lo general carga para potencia nominal	Madera de leña dura	No requerida por el estándar. Para la UNE 16510 se dan opción de túnel de dilución y extracción directa en ducto de gases con sonda calefaccionada	Dos o tres	Definido por el fabricante en base a potencia liberada
Australia/ Nueva Zelanda	Particulado total y eficiencia energética mediante método directo	Tres cargas: Mínima, Máxima y Media	Leña sin corteza, puede ser dura o blanda	Mediante uso de túnel de dilución	Tres por cada tasa de quemado	Cálculo basado en el volumen de la cámara de combustión (16%)
EE.UU.	Material particulado total	Cuatro ensayos por tasa de quemado	Madera de Douglas escuadrada y secada al aire con un contenido de humedad del 16% al 20%.	Mediante el uso de túnel de dilución o en la descarga de gases directamente	Un ensayo por tasa de quemado	Cálculo basado en el volumen de la cámara de combustión con valor de 112±12 kg/m³
Canadá	CO, eficiencia y material particulado total	Cuatro ensayos para tasas de quemado	Madera tipo "Douglas" biselada con largos entre 406-610 mm	Mediante uso de túnel de dilución	Un ensayo por tasa de quemado	Cálculo basado en el volumen de la cámara de combustión con valor de 112±12 kg/m³

	Criterios de desempeño	Config. de carga	Combustible	Medición MP	N° mínimo de lotes de ensayo	Masa del lote de prueba
Chile	CO y eficiencia energética calculada mediante método indirecto	Mínimo dos ensayos por potencia térmica nominal o al 70% de la carga nominal.	Eucaliptus globulus con contenido de humedad (16 ± 4)% El tamaño puede ser 2x4 pulg. o en su defecto 4x4 pulg. dependiendo de volumen de cámara.	Mediante el uso de túnel de dilución o en la descarga de gases directamente	Se requiere una corrida de medición de emisiones en cada una de las 4 tasas de quemado requeridas	Cálculo basado en el volumen de la cámara de combustión con valor de $112 \pm 11,2 \text{ kg/m}^3$

Fuente: Elaboración propia

Estándar de mínima eficiencia

La situación no es uniforme a nivel internacional. Mientras en Estados Unidos se opta por regular las emisiones, en Australia/Nueva Zelanda se toma la opción de normar emisiones y eficiencia energética. En la tabla siguiente se aprecia la situación en cada país.

Tabla 65. MEPS a nivel internacional

	Estándar para EE	Estándar para emisiones
Comunidad Europea (Noruega/Suiza)	<ul style="list-style-type: none"> • Calefactor cerrado: 65% EEI • Calefactor cerrado con pellets de madera: 79% EEI 	<ul style="list-style-type: none"> • Calefactor cerrado: ≤ 50 mg/Nm³ (HF); ≤ 6 g/kg (DT) • Calefactor cerrado con pellets de madera: ≤ 20 mg/Nm³ (HF); $\leq 2,5$ g/kg (DT); $\leq 1,2$ g/kg (UK)
Australia/ Nueva Zelanda	<ul style="list-style-type: none"> • Australia: Superior a 60% • Nueva Zelanda: Superior a 65% 	1,5 g/kg de combustible
EE.UU.	Sin requerimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Para todos los calefactores sin certificación EPA vigente: 4,5 g/h de funcionamiento para estufas catalíticas y no catalíticas. • Todos los calefactores de leña y de pellets de madera: 2,0 g/h para los calefactores catalíticas y no catalíticas, si las emisiones se comprueban utilizando cribwood. <i>Límite alternativo:</i> 2,5 gramos por hora, si se comprueba con cordwood; el método debe ser aprobado
Canadá	Sin requerimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Artefactos de combustión de leña catalíticos: 2,5 g/h • Artefactos de combustión de leña no-catalíticos: 4,5 g/h <p>El cumplimiento del estándar para los calefactores es voluntario a nivel central, pero puede ser requerido como obligatorio por las provincias o a nivel municipal.</p>
Chile	Sin requerimientos	<ul style="list-style-type: none"> • 2,5 g/h MP2,5, para calefactores con potencia menor a 8 kW. • 3,5 g/h MP2,5, para calefactores con potencia superior o igual a 8 kW y menor a 14 kW. • 4,5 g/h MP2,5, para calefactores con potencia superior o igual a 14 kW y menor o igual a 25 kW.

Fuente: Elaboración propia

4. EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA

En sus orígenes, la calefacción mediante el uso de leña a nivel residencial, provenía del uso de sistemas de calefacción con chimeneas abiertas. En 1744 el inventor Benjamín Franklin creó la conocida estufa de hierro fundido motivado por la escasez y costo en aquel entonces de la leña. Como se observa, este avance tecnológico, de cámaras de combustión abierta a sistemas de hierro fundido se debió exclusivamente a lo que llamaríamos hoy "*la necesidad de mejora de la eficiencia energética*" ya que el eslogan de venta era "*ahorro de la mitad de combustible*", como se expresa en (Brewer, 2000).

A través del tiempo, criterios tales como: la eficiencia de combustión, emisiones ambientales, diseño del sistema de calefacción, requisitos de materiales e instrucciones de funcionamiento; son exigencias que han contribuido a un desarrollo tecnológico de equipos de calefacción. Por esta razón, el análisis de la evolución tecnológica incorpora necesariamente aspectos energéticos, ambientales y de seguridad.

Un análisis de la evolución tecnológica en sistemas de calefacción que consumen combustible sólido puede realizarse de manera cualitativa (descriptiva), o en su defecto, de manera cuantitativa.

Cualitativamente se ha observado que tecnológicamente los emisores de calor varían fuertemente dependiendo del sector geográfico donde se utilicen y del uso que se les dé; ya sea calefacción o cocción.

No obstante, a partir de la calefacción con sistemas de cámara abierta que tenían una eficiencia en torno del 15%, entre los años 1800 y 1900, a los calefactores fundidos de hogar cerrado, se les introdujo una mejor distribución del flujo de aire con sistemas de deflectores alcanzando eficiencias, en torno, del 30%, lo que, según los estándares actuales, serían ilegales debido al alto nivel de emisión de partículas.

A partir de la crisis energética de 1970 este tipo de estufas aumentó su popularidad a pesar de su ineficiencia energética, alto nivel de partículas y riesgos de incendios producto de la creosota. Sin embargo, la tecnología de los calefactores a leña permaneció prácticamente sin cambios hasta finales de 1980 cuando la Agencia de Protección Ambiental (EPA) estableció límites de emisión para los calefactores a leña de 7,5 gramos por hora.⁶⁴

A partir de 1988 hubo tal nivel de diseños que, considerando las decenas de miles fabricadas, una clasificación de éstas es imposible. Sin embargo, se puede establecer que éstas se pueden agrupar según sus materiales (por ejemplo, hierro, ladrillo), funciones (por ejemplo, cocinar y calentar), tipos de tiro (por ejemplo, tiro natural o forzado), con o sin catalizador etc. Entre la gran variedad se tienen aquéllas de hierro fundida con puerta cerrada, aquéllas con puerta de vidrio o aquéllas con diferentes elementos decorativos.

Técnicamente la variable más importante que ha permitido avances ambientales y energéticos en estufas a pellets de madera y combustión a leña es el suministro de oxígeno, necesario para las reacciones de combustión. Éste se proporciona en los calefactores mediante tiro forzado o natural, o en su defecto, manualmente como en versiones anteriores o automáticamente como en estufas modernas avanzadas.

Los equipos más antiguos, sin considerar las chimeneas tradicionales emplazadas en la habitación, presentan dos características operacionales asociadas a su diseño. La primera

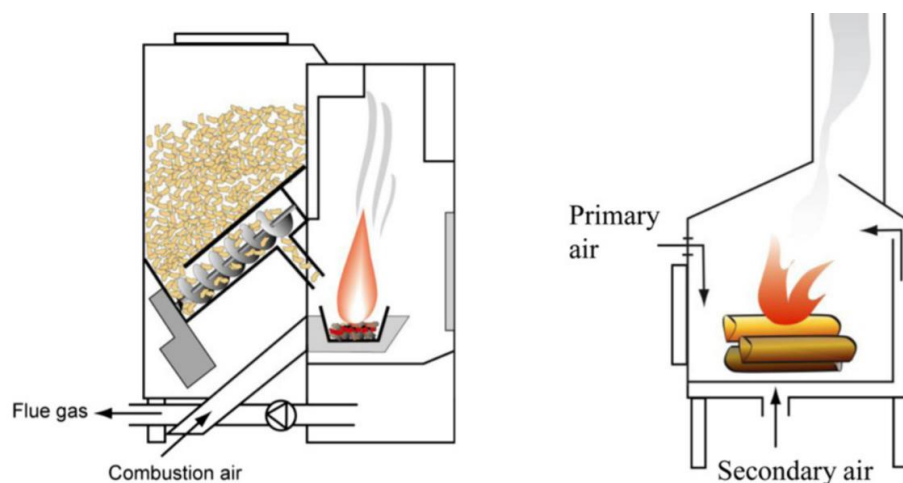
⁶⁴ <https://www.ul.com/news/new-emission-limits-solid-fuel-heating-equipment-begin-may-2020>

es que el nivel de aislación en el hogar de la estufa era muy pobre, formando una heterogeneidad térmica en el hogar de combustión que genera grandes emisiones de CO, y la segunda, dice relación con el aire primario de combustión el cual circulaba de manera ascendente hasta la chimenea produciendo un déficit del aire necesario para la combustión. Cuando esta variable se correlaciona con el tipo de chimenea, los valores de tiraje en una instalación, pasan a ser extremadamente importante encontrándose que los valores de altura de una chimenea deben oscilar entre 5 a 10 m de altura con tirajes entre 20 – 30 Pa.

Conceptualmente, las principales innovaciones corresponden a un mejor control de la combustión. Como se observa de la Figura 47, en el caso de equipos a pellets de madera que pueden operar como estufas independientes o insertos para chimeneas, éstas se componen de una tolva de combustible para almacenar los pellets de madera (16 a 60 kg), un dispositivo alimentador (tornillo sin fin) que entrega de manera continua el combustible, un sistema de extracción de gases forzado y, en el caso de estufas de pellets de madera más avanzadas, una pequeña computadora y un termostato para controlar la velocidad de alimentación del pellet.

Los calefactores de pellets de madera, de acuerdo a certificaciones internacionales tienen un rango de eficiencia entre 70% a 83% y sus potencias nominales oscilan entre 2,3 kW hasta 26 kW. No obstante, estos equipos requieren un mantenimiento menor, semanal, y uno más profesional anual. Asimismo, se requiere electricidad para la operación del ventilador y motor alimentador de combustible que en sí representa un consumo de energía eléctrica

Figura 47. Disposición esquemática de mejoras tecnológicas de estufas a pellets de madera y de combustión a leña



Fuente: (Bafver, Leckner, Tullin, & Berntsen, 2011)

En relación a la estufa de combustión de leña, la Figura 47 permite observar la razón por qué se denominan de combustión secundaria. Los componentes incluyen un canal de metal que calienta el aire secundario que ingresa por la parte superior del hogar. Este oxígeno precalentado ayuda a quemar los gases volátiles por encima de las llamas sin ralentizar la combustión, además de dar oportunidad al carbono, aún no quemado, para que libere su energía. De la misma manera, otro avance tecnológico importante corresponde a la aislación de la cámara de combustión que permite reflejar el calor sobre el hogar y

garantizar que los gases mantengan una temperatura elevada a fin de promover su turbulencia y así evitar gases inquemados.

En general estas estufas de combustión más avanzadas a leña, suelen tener eficiencias de 65 a 75% (sobre el poder calorífico superior).

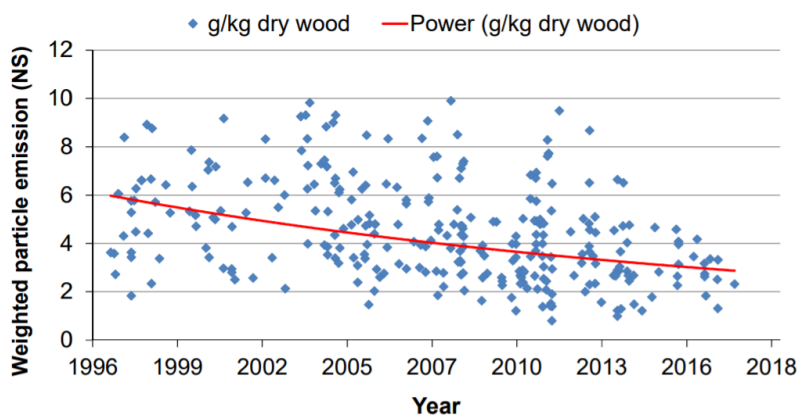
Entre otros avances que deben mencionarse, pero que no son materia del presente trabajo, son los dispositivos postcombustión que permiten mejorar el desempeño ambiental y energético de estufas a leña. Entre ellos se tiene, catalizadores y electrofiltros. En particular los catalizadores permiten mejoras en la eficiencia energética hasta un 83% para el caso de estufas a leña y mitigaciones de CO hasta 90%. Para el caso de los electrofiltros, se observan mitigaciones de material particulado en torno del 70%.

Desde un punto de vista cuantitativo, la mejor clasificación corresponde a aquellos aspectos de desempeño ambiental y energético. Específicamente se debe considerar tasas de emisión, potencia térmica, eficiencia térmica y concentración de CO.

En (Skreiberg & Seljeskog, 2018) se estudian los avances tecnológicos en el desempeño de estufas a leña en las últimas dos décadas en cuanto a la tasa de emisión de material particulado (g/kg de leña seca) y eficiencia térmica. Éstos muestran tendencias favorables de acuerdo a las siguientes figuras. Es importante mencionar que este trabajo tuvo el objetivo de revisar el historial de desempeño ambiental y energético de las estufas de leña, con especial énfasis en las últimas dos décadas, los ensayos fueron realizados en el Norwegian Fire Laboratory (NBL) y RISE (Fire Research Norway).

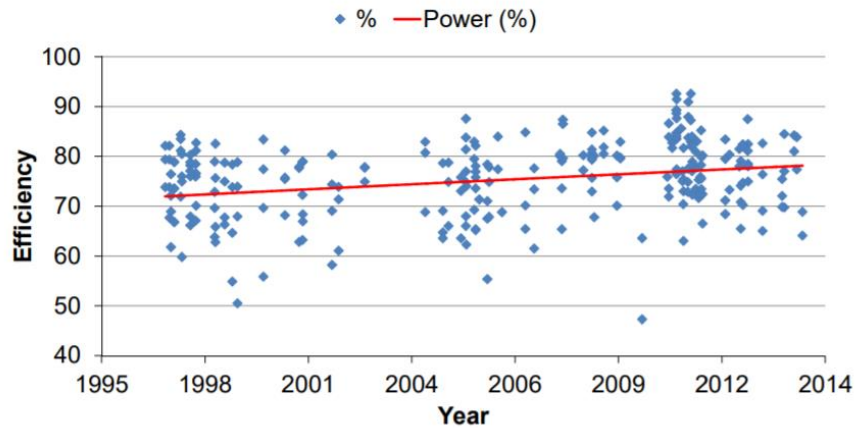
Los autores expresan "Se recibieron resultados experimentales anónimos de NBL y RISE Fire Research Norway que cubren 20 años de resultados de pruebas de aprobación de acuerdo principalmente con la norma noruega (NS 3058, 1994 y NS3059, 1994), pero también con la EN 13240 (2001). Esto equivale a unas 300 pruebas de aprobación, lo que proporciona un gran conjunto de datos, útil para analizar tendencias en función del año o grado de desarrollo, así como las correlaciones entre el nivel de emisión de partículas y diferentes parámetros que pueden influir en esto."

figura 48. Evolución de la tasa de emisión de material particulado de estufas a leña en función del tiempo



Fuente: (Skreiberg & Seljeskog, 2018)

Figura 49. Evolución de la eficiencia térmica de estufas a leña en función del tiempo



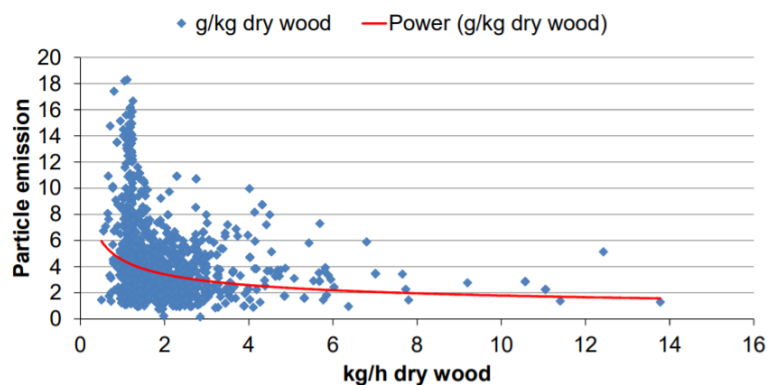
Fuente: (Skreiberg & Seljeskog, 2018)

Identificar las variables específicas que influyen positivamente en el desempeño de los calefactores a leña no es posible, dado que es un problema multifactorial con complejos fenómenos físicos no lineales tal como la combustión.

A pesar de lo anterior, este mismo estudio citado y la experiencia del equipo consultor con mediciones en laboratorio, muestran que la incidencia en la tasa de emisión de material particulado dependerá del consumo de combustible, la tasa porcentual de potencia térmica nominal, volumen de la cámara de combustión y porcentaje de humedad del combustible.

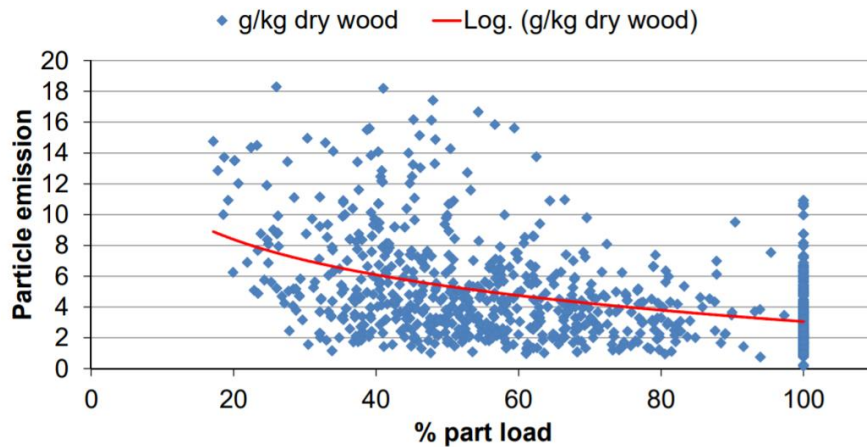
El impacto de todos estos parámetros operacionales y de diseño son mostrados a continuación en las siguientes figuras.

Figura 50. Impacto del consumo de combustible en la tasa de emisión de material particulado



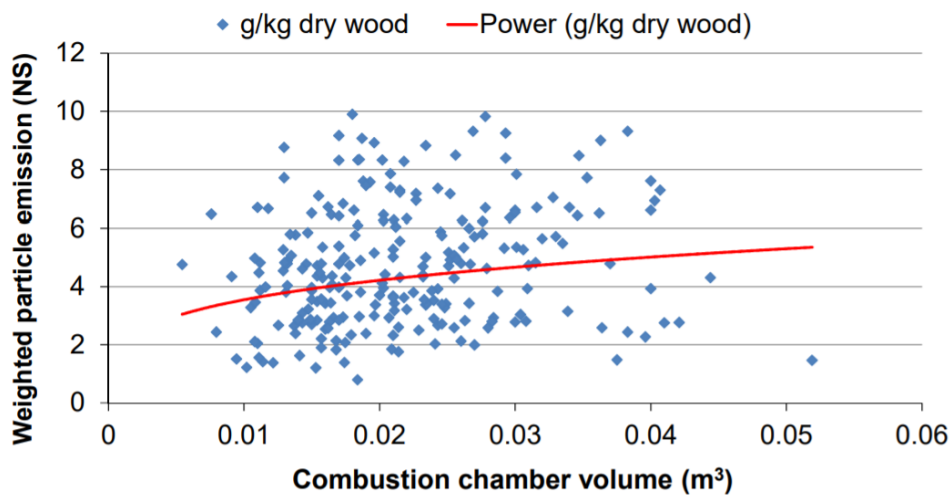
Fuente: (Skreiberg & Seljeskog, 2018)

Figura 51. Impacto del porcentaje de potencia nominal (part load) de la estufa en la tasa de emisión de material particulado



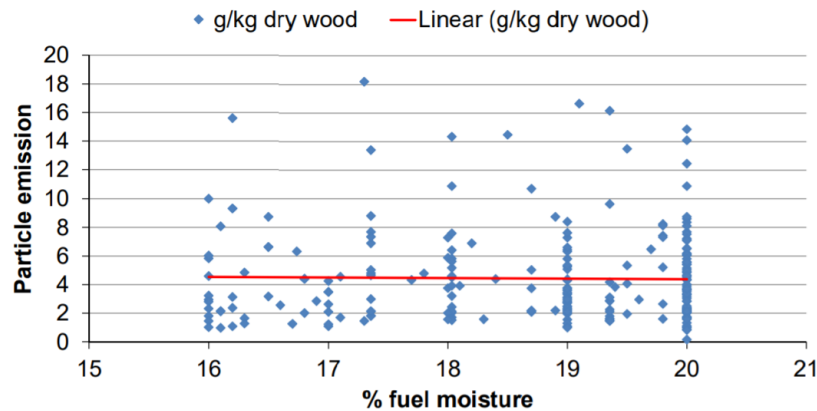
Fuente: (Skreiberg & Seljeskog, 2018)

Figura 52. Impacto del volumen de la cámara de combustión de la estufa en la tasa de emisión de material particulado



Fuente: (Skreiberg & Seljeskog, 2018)

Figura 53. Impacto del porcentaje de humedad del combustible en la tasa de emisión de material particulado

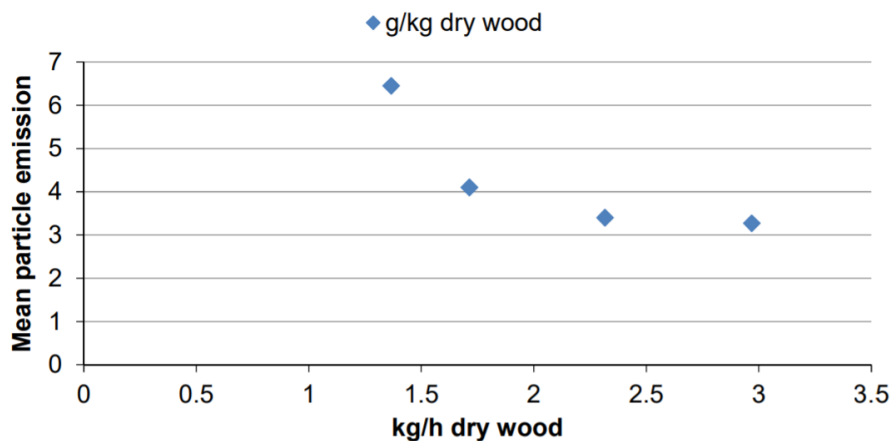


Fuente: (Skreiberg & Seljeskog, 2018)

Cuando se correlaciona la tasa media de material particulado emitido (g/kg de leña) por un emisor de calor en función del consumo de combustible se observa que a mayor consumo de combustible la tasa de emisión es menor. Las causas pueden ser al menos dos:

- Una mayor tasa de quemado (para un mismo volumen de cámara) establece mayores temperaturas en el hogar y en consecuencia el material inquemado tiene más opciones de combustionarse (dado el vigor de la combustión) y así generar menos material particulado.
- Por otra parte, sobre la base que en los ensayos se mantiene el tiro, en torno de 12 Pa, para ese volumen de cámara de combustión la temperatura se torna muy homogénea al interior y nuevamente permite una mejor combustión.

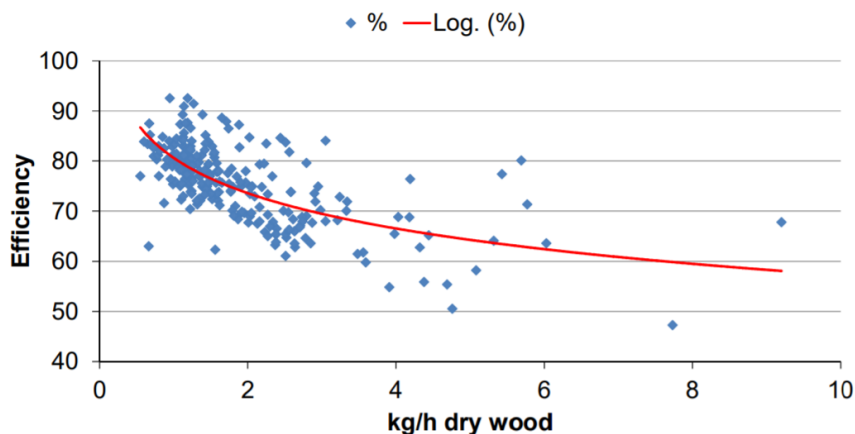
Figura 54. Impacto del consumo de combustible en la tasa media de emisión de material particulado



Fuente: (Skreiberg & Seljeskog, 2018)

En relación a la eficiencia energética de un sistema de combustión a leña en función del consumo de combustible y el porcentaje de carga de la estufa, las siguientes figuras muestran el impacto de ambas variables.

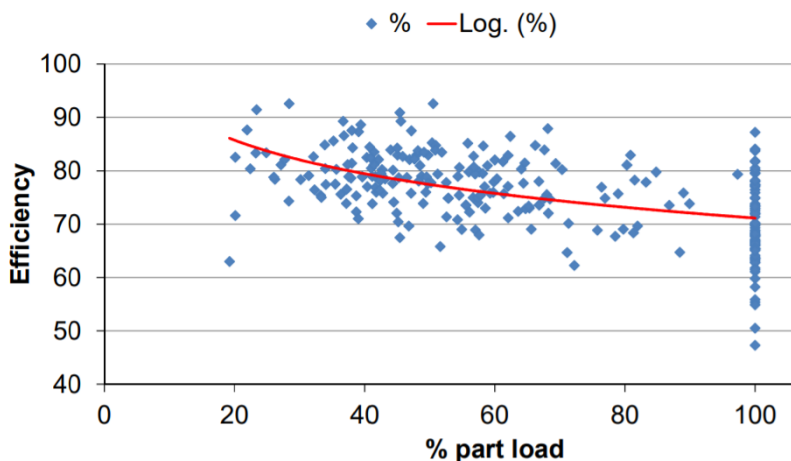
Figura 55. Variación de la eficiencia térmica en función del consumo de combustible



Fuente: (Skreiberg & Seljeskog, 2018)

La Figura 55 permite concluir que, a mayor tasa de energía liberada al interior del hogar, se dispone de mayor temperatura en los gases los cuales para el tiraje establecido tiene más opciones de pérdida energética de los gases por la respectiva chimenea. En consecuencia, existe una relación entre temperatura del hogar, tiraje y eficiencia. De esta manera, cada estufa, por características particulares tendrá una dinámica en función de su geometría interna.

Figura 56. Variación de la eficiencia térmica en función de la potencia térmica del calefactor



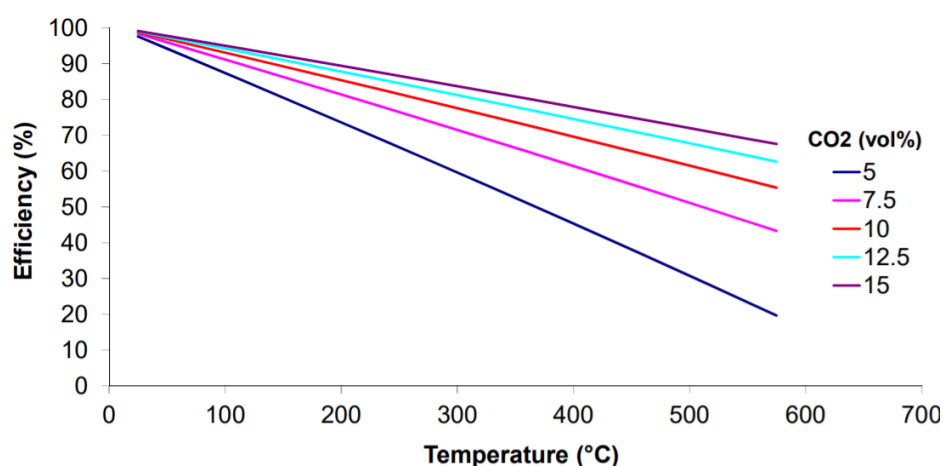
Fuente: (Skreiberg & Seljeskog, 2018)

Estos resultados mostrados en la Figura 56 son consistentes con los anteriores desde que el porcentaje de carga corresponde a porcentajes de la potencia nominal. El caso de 100%

de carga cubre todos los rangos de eficiencias anteriores. No obstante, mediante la regulación de la tasa de quemado (regulación del tiraje), es posible modificar la eficiencia entre diferentes rangos. De esta manera, la cantidad de gases evacuados, a diferentes temperaturas, se obtienen diferentes valores de eficiencia energética.

Finalmente, como una forma de verificar que los niveles de operación de la estufa impactan fuertemente en la eficiencia del equipo, a continuación, se muestra la variación de eficiencia en función del contenido de CO₂ de los gases y la temperatura de salida de la cámara de combustión de los gases. Como se observa, y concordante con la teoría, existe un valor óptimo de temperatura de gases y un valor óptimo de exceso de aire que dependiendo del diseño del equipo tendrá mejores o peores valores de eficiencia térmica.

Figura 57. Impacto de la temperatura de gases a la salida de la cámara de combustión y % de CO₂ sobre la eficiencia térmica



Fuente: (Skreiberg & Seljeskog, 2018)

Como se desprende de los diferentes aspectos involucrados en el proceso de combustión, el diseño de una estufa óptima, en cuanto a emisiones y rendimiento energético es un verdadero desafío toda vez que existen no solo aspectos de diseño, sino también aspectos operacionales y estándares de medición.

4.1. COMPONENTES DE ESTUFAS A LEÑA

Tecnológicamente, la principal diferencia entre los calefactores fabricadas antes que apareciesen las regulaciones modernas y las actuales, dice relación con los controles de entrada de aire que permite establecer una velocidad de combustión. Antiguamente, se permitían tasas muy bajas de flujo de aire con consecuencias de combustión incompleta y "mucho humo visible". Al día de hoy, existe un control del tiraje que permite optimizar el funcionamiento operacional de una estufa a leña.

De manera resumida se puede decir que los tres factores de mayor importancia son las dimensiones de la rejilla, el diseño de la cámara de combustible y la división de la toma de aire (aire primario y aire secundario). No se pueden establecer reglas fijas con respecto a las dimensiones. Cada aparato tiene que estar diseñado para el uso particular al que será destinado, pero de manera general todos los calefactores de leña deben tener cámara de combustible, rejilla y tomas de aire.

En la siguiente tabla se describen los componentes comunes insertos en una estufa a leña, así como su función.

Tabla 66. Componentes de estufas a leña y su función

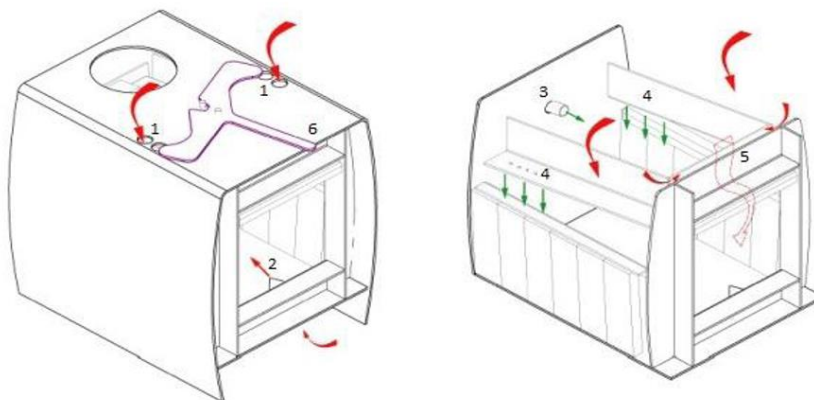
Componente	Función
Cámara de Combustión	<p>Lugar donde ocurre la combustión de la leña y la producción de calor. Su tamaño es determinante para permitir un tiempo adecuado para que ocurra la oxidación de los componentes orgánicos, así como, para generar una turbulencia necesaria para la mezcla con el oxígeno.</p> <p>Suele estar revestida de ladrillos o cemento refractario o, en su defecto, con paneles de acero o hierro fundido.</p> <p>El volumen en Norteamérica es reportado por los fabricantes mientras que en Chile esto normalmente no es reportado.</p> <p>Para la Comunidad Europea se encuentran equipos de 10 kW de potencia térmica nominal con 0,09 m³ de cámara de combustión con 79% de eficiencias mientras que, equipos de 20 kW tienen volumen de cámara de combustión de 0,175 m³ con 77% de eficiencia térmica.</p>
Deflectores	<p>Están instalados en la parte superior de la cámara de combustión y pueden ser de acero, hierro fundido o ladrillo refractario. Su función maximizar el tiempo de permanencia de los gases en la cámara de combustión para obtener una combustión completa y aumentar la tasa de transferencia de calor con el medio externo antes que los gases salgan por la chimenea.</p>
Ingreso Aire Primario y Secundario	<p>En muchos casos el ingreso de aire de combustión primario ocurre por la parte inferior del fuego a través de una rejilla inferior la cual debe estar convenientemente dimensionada, mientras que, el aire secundario ocurre por la parte superior de la estufa.</p> <p>En el caso del aire secundario, normalmente este es precalentado y se estima que este es fundamental para lograr una combustión completa.</p>
Rejilla ingreso aire primario	<p>La rejilla debe ser relativamente pequeña, en todos los casos más pequeña que el fondo de la cámara de combustible para que el carbón de leña que se forma durante la combustión alcance una profundidad suficiente para cubrir la rejilla por completo. La cantidad de calor producido por metro cuadrado de parrilla en estufas es de 104,5 kW/m² a 232,6 kW/m²</p> <p>En caso de una rejilla demasiado grande, la temperatura de los gases que escapan por la chimenea es demasiado alta, lo que conlleva grandes pérdidas de calor. En lo contrario, una rejilla demasiado pequeña causa fácilmente problemas de tiro y, en consecuencia, una combustión incompleta con el riesgo de que se deposite alquitrán en el conducto de humos.</p> <p>Para una estufa de leña, la rejilla debe estar hecha de manera que la relación entre los intersticios o rendijas y el área total esté entre 0,25 y 0,35 (25% - 35%)</p> <p>En general, se debe dar preferencia a una rejilla plana a fin de retirar la ceniza fácilmente y el aire tenga acceso en todos los puntos.</p>

Componente	Función
	Para estufas grandes, las barras de la rejilla deben estar dentadas o ranuradas en la superficie inferior para aumentar su capacidad de enfriamiento.
Collar de humos	El collar de la chimenea es la abertura en la parte superior, trasera o lateral de la estufa por donde los gases de escape se descargan a la atmósfera.
Tiraje de Chimenea	El tiro de los gases de escape es fundamental considerando que un tiro demasiado débil producirá una combustión incompleta con una liberación de potencia térmica inferior a la proyectada. Por el contrario, un tiro muy alto comprometerá la eficiencia energética de la estufa con alto exceso de aire y en la práctica excesivo consumo de leña.
Cenicero	Dispositivo ubicado en la parte inferior de la estufa para retirar las cenizas de la combustión.

<https://fireplaceuniverse.com/parts-of-a-wood-burning-stove/>

La siguiente figura ilustra los principales componentes de una estufa a leña en lo que respecta al ingreso del aire, tanto primario como secundario.

Figura 58. Principales componentes de un calefactor a leña



- 1 Ingreso de aire primario
- 2 Inyector de aire
- 3 Ingreso de aire secundario
- 4 Ingreso de aire primario lateral a la cámara de combustión
- 5 Ingreso de aire primario frontal a la cámara de combustión
- 6 Regulador de ingreso de aire primario

4.2. COMPONENTES ESTUFAS A PELLETS DE MADERA

Los calefactores a pellets de madera se componen de los siguientes elementos⁶⁵:

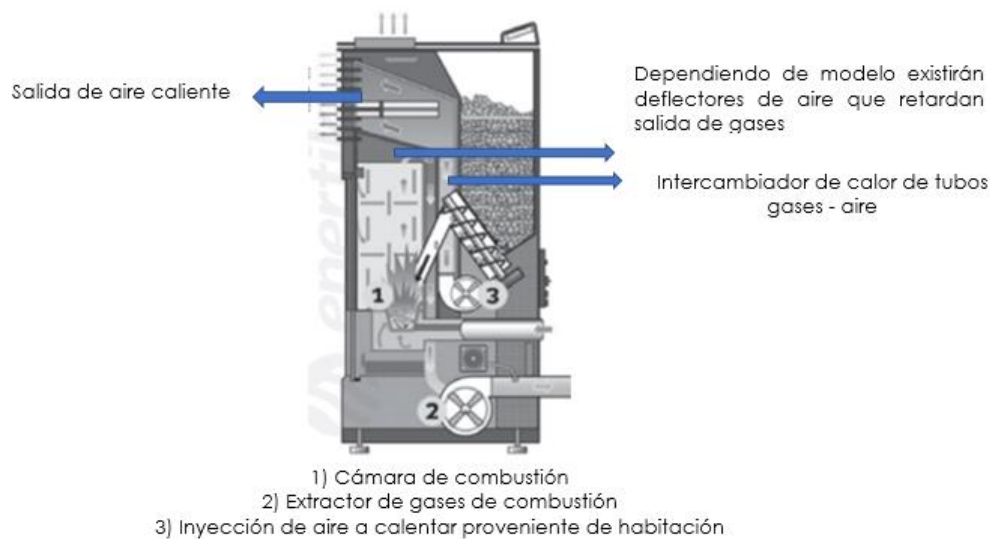
- Cuerpo
- Cámara de Combustión

⁶⁵ <https://fireplaceuniverse.com/parts-of-a-pellet-stove/>

- Tolva de carga de combustible
- Sinfín con motor y engranajes de transmisión
- Conducto de suministro de combustible
- Extractor de humos
- Toma de humos
- Ventilación Ingreso de Aire
- Ventilador Distribución
- Salida de Calefactor
- Intercambiador de Calor
- Unidad de Control
- Cenicero
- Sistema de Encendido
- Placas Deflectoras
- Sensores
- Puerta de Cristal

Los principales componentes asociados al proceso de combustión se muestran en la figura siguiente:

Figura 59. Principales componentes asociados a al proceso de combustión en un calefactor a pellets de madera



Fuente: Manual Enertik

Operacionalmente, los calefactores de pellets de madera se alimentan cargando pellets de madera en un dispositivo llamado tolva el cual se transferirá de manera controlada por un sistema automático a la respectiva cámara de combustión liberando su energía de manera controlada a partir de una tasa relación aire combustible automatizada. Para esto, un termostato controla principalmente la velocidad del sinfín, el que, a su vez, entrega una cierta cantidad de pellets de madera por unidad de tiempo en el hogar de la estufa.

Dependiendo del tipo de estufa, la alimentación del combustible puede ser realizada mediante un sistema de alimentación superior u horizontal. La alimentación superior reduce el riesgo de incendio, sin embargo, tienen la desventaja de que las cenizas pueden quedar atrapadas en la rejilla de la cámara de combustión lo que una acumulación de estas puede apagar el propio fuego. Por esta razón, los fabricantes de estos equipos recomiendan el uso de pellets de madera de alta calidad y bajo contenido de cenizas.

Para el caso de alimentación inferior, el pellet es transportado a la cámara de combustión con un sinfín horizontal, por lo que la ceniza del combustible es trasladada hacia el lado, y de esta manera cae al cenicero de manera natural evitando mantenimientos más continuos.

El calor liberado de la estufa es transferido a la habitación mediante un ventilador que hace circular el aire por la superficie de la estufa, así como, por un intercambiador de calor de hierro fundido o acero.

La mayoría de los calefactores a pellets de madera disponen de un ventilador que permite ingresar aire limpio a la cámara de combustión y tener un control de la relación aire combustible.

4.3. CORRELACIÓN DE TECNOLOGÍAS EN MERCADO INTERNACIONAL CON EFICIENCIA ENERGÉTICA

Técnicamente, los calefactores energéticamente eficientes, sean estos a leña o a pellets de madera, deben cumplir dos criterios: a) el combustible debe quemarse completamente para que la fase gaseosa contribuya de manera más significativa al proceso de combustión en lugar de subir por la chimenea en forma de humo y perder energía por ésta, y b) el sistema de calefacción debe transferir la mayor cantidad de calor como sea posible a la habitación, limitando la cantidad de energía que se pierde por la chimenea.

A pesar que estos conceptos son generales para cualquier sistema de combustión, la optimización de la relación aire – combustible y la temperatura de los gases de combustión en una estufa son extremadamente complejos porque entre otras, interviene la variable de emisiones ambientales.

Al optimizar las relaciones aire / combustible y las temperaturas de la chimenea mediante el ajuste del tiraje, es posible controlar la eficiencia, no obstante, se ha observado que en cada estufa habrá un valor máximo que cuando se intenta superar, surgen problemas de estabilidad operacional al punto que la falta de aire para la combustión se puede traducir en que las emanaciones de humo no salgan por la chimenea sino inunden la habitación de la estufa.

Evidentemente, cada estufa tendrá un diferente punto de operación óptimo que dependerá de su tecnología o configuración de los diferentes componentes. De esta manera, en la actualidad, todos los fabricantes disponen en sus estufas de los mismos componentes, es decir, ingreso de aire inferior, refractarios aislantes, cámara de

combustión, canales de intercambio de calor, radiador interno y circulación de aire externo.

Lo anterior, permite establecer que, de acuerdo a la experiencia empírica de cada fabricante, éste dispondrá de cada componente bajo cierta configuración y disposición, por lo que es imposible distinguir entre una diversidad de soluciones tecnológicas, y correlacionar éstas con la eficiencia energética. Lo anterior sería posible, solo sí, se tiene información reservada de cada fabricante y como esto normalmente no es factible lograr, una correlación de productos internacionales y/o nacionales es imposible de obtener.

De estos antecedentes, es posible suponer que en la actualidad el mercado nacional ha sido influenciado tecnológicamente por la realidad internacional, a partir de la relación comercial entre fabricantes nacionales e internacionales, estando presentes en el mercado chileno, versiones con eficiencias en los rangos superiores encontrados en mercados internacionales. De esta manera, en lo que respecta a estufas a leña, es perfectamente factible establecer que las eficiencias superiores comercializadas en el país sean las mayores eficiencias encontradas a nivel internacional. Así, el espacio de mejora está en disminuir la dispersión de los valores de eficiencia, haciéndolos tener al alza.

Para el caso de estufas a pellets de madera, los aspectos tecnológicos siguen un padrón de manera que es factible de suponer los mismos principios que para el caso de los calefactores a leña.

4.4. CONCLUSIÓN GENERAL RESPECTO DE EFICIENCIA

Considerando que el fenómeno de combustión al interior de los calefactores a leña y pellets de madera es fuertemente no lineal, con características de flujo turbulento, resulta imposible caracterizar el desempeño en función de la tecnología. El estudio cuantitativo realizado demuestra tales hechos y el mejor esfuerzo de caracterización resulta del análisis estadístico. No obstante, una opción factible podría ser a partir de información técnica detallada de cada fabricante lo que a través de la información existente es imposible ya que ésta es enteramente comercial y no técnica.

El nivel de detalle técnico para una caracterización requiere conocer variables tales como el volumen de la cámara de combustión, la relación operacional de aire combustible, el tiraje, la altura de la chimenea, la potencia nominal del equipo y la disponibilidad de aire para la combustión en el recinto donde se encuentra el equipo.

A partir de diferentes ensayos experimentales que buscan mejorar el rendimiento de las estufas a leña⁶⁶ se concluye que las siguientes variables son fundamentales para obtener mejoras:

- 1) **Relación aire primario combustible:** Cuando en un calefactor de leña de tiro natural, se realizan mejoras en el ingreso de aire primario, mediante la canalización de dicho aire y el precalentamiento de éste a partir del entorno de la chimenea, los estudios indican que la eficiencia energética puede mejorar de 62% hasta un 79%.

⁶⁶ Wood stove combustion air retrofits: A low cost way to increase energy savings in dwellings; Ricardo L. Carvalho, Estela D. Vicente, Luís A.C. Tarelho, Ole M. Jensen; / Energy & Buildings 164 (2018) 140–152

- 2) **Inyección de aire precalentado secundario:** Por introducir aire secundario con una mejor distribución fluidodinámica en la cámara de combustión, los ensayos indican que puede reducirse el nivel de CO en un 39%.
- 3) **Aumento de la temperatura en la cámara de combustión:** Por introducir al interior de la cámara una cerámica porosa no catalítica (paredes laterales, piso y techo), según estudios experimentales⁶⁷, las emisiones de material particulado disminuyen entre un 20% y un 60%. Sin embargo, pese a que no se reporta cálculo de la eficiencia energética, se indica que las temperaturas de la cámara, gases y paredes de la estufa aumentaron producto de la mejora de la tasa de transferencia de calor entre la cámara y el exterior circundante.
- 4) **Aspectos operacionales de carga de combustible:** Si bien se han reconocido y discutido a menudo las diferencias de combustible y calefactor, otro aspecto importante que a veces se ha subestimado son los comportamientos del operador, como la adición de combustible y el ajuste del suministro de aire, que pueden afectar la magnitud y variabilidad de las emisiones. Agregar combustibles a las estufas perturba la combustión, y esta perturbación depende de la masa de combustible agregado y la frecuencia de la adición. En general, se ha observado una correlación significativa entre las emisiones contaminantes y la masa de recarga de combustible y los tiempos de recarga. Con una gran masa de recarga, la interferencia provoca una mayor inestabilidad en el proceso de combustión.
- 5) Entre **otras mejoras tecnológicas**, se observan que existen estudios, bastantes invasivos con diferentes insertos en los calefactores de leña. Entre las propuestas se tienen: a) manejo del aire de extracción de gases mediante la inserción de un ventilador, b) inserción de catalizador inmediatamente a la salida de los gases del calefactor de leña, c) inserción de intercambiador de calor post catalizador con control del flujo de aire mediante ventilador y d) inserción de precipitador electrostático (electro filtro).

Los ensayos de laboratorio⁶⁸ indican que por aumentar y/o modificar la extracción de gases mediante el ventilador de gases, para un tipo de estufa, el rendimiento térmico disminuyen de 73% a 68% (calefactor fabricación alemana), mientras que para otro tipo de estufa disminuye de 79% a 71% (calefactor nacional). De esta manera, se confirma que el tiraje es un aspecto fundamental que depende de la temperatura de la cámara de combustión, del volumen y de la instalación incluyendo el diámetro de la descarga de gases.

De acuerdo a los ensayos, la única innovación que permite observar un incremento del rendimiento energético es la proporción adecuada en términos de flujo del intercambiador de calor. En la estufa de procedencia alemana, el rendimiento aumenta de 64% a 76% mientras que para la estufa nacional aumenta de 64% a 87%.

En relación al impacto del catalizador y el electrofiltro se observa nulo impacto en el rendimiento térmico, sin embargo, conforme a lo esperado, se observa un buen impacto a

67 Particulate matter emissions reduction from residential wood stove using inert porous material inside its combustion chamber; Fabián Guerrero, Andrés Arriagada, Felipe Munoz, Pablo Silva, Nicolás Ripoll, Mario Toledo; Fuel 289 (2021) 119756

68 Effects of single and combined retrofit devices on the performance of wood stoves; Mario Konig, Ingo Hartmann, Felipe Varas-Concha, Carlos Torres-Fuchslocher, Frank Hoferecht; Renewable Energy 171 (2021) 75e84

nivel de CO para el caso del catalizador y una mejora de la emisión de material particulado en el caso del electro filtro.

Visto todo lo anteriormente expuesto en este capítulo, tanto para estufas a leña como para pellets se puede establecer parámetros de diseño que afectan ambas tecnologías para efectos de energía y emisiones de material particulado. En particular, para ambas tecnologías, considerando que el proceso de transformación de energía química a térmica es el mismo, las variables críticas son, cantidad de aire primario, cantidad de aire total (incluye el aire secundario), nivel de turbulencia del aire, tamaño del hogar, temperatura de ingreso del aire y características del tiraje. Sin embargo, a continuación, se establece el orden de impacto de las variables mencionadas, tanto para estufas a pellets como calefactores a leña.

4.4.1. CALEFACTORES A PELLETS DE MADERA

La principal variable que afecta la concentración de material particulado, según ensayos de laboratorio, corresponde al factor de aire primario y el factor de aire total. En particular, se ha llegado a constatar que el más importante de todos es el aire primario ya que la concentración de partículas es de 2 a 4 veces menor que en caso que la estufa trabaje con bajo aire primario.

El segundo factor de importancia para efectos de emisiones de CO es la interacción fluidodinámica entre el aire total y la turbulencia del aire al punto que, de existir baja turbulencia con la cantidad de aire total, el nivel de emisiones de CO será más elevado comparativamente con mejores niveles de turbulencia. Adicionalmente, como consecuencia del mezclado eficaz en la zona secundaria, la emisión de partículas en el gas de combustión se desacopla de la concentración de partículas en la zona primaria.

Pese a lo anterior, los diseñadores se encuentran con la paradoja de que aumentando el factor de aire primario para disminuir los niveles de material particulado, los niveles de eficiencia bajen por tener mayor cantidad de pérdidas energéticas en los gases de combustión.

Según se observa en el mercado, la solución tecnológica queda supeditada a un aumento del tiempo de permanencia de los gases en la cámara de combustión con el consecuente aumento de altura de la estufa y el manejo del respectivo tiraje.

4.4.2. CALEFACTORES A LEÑA

Además de los factores propios del proceso de combustión descritos en el caso de estufas a pellets, en las estufas a leña, el tipo de combustible se torna crítico tanto en el nivel de emisiones como la eficiencia energética. En este caso, la heterogeneidad del combustible puede sufrir diversos procesos entre los cuales se tiene secado, calentamiento, pirólisis y combustión de carbón. Estas fases se superponen entre sí y en cada una se generan diferentes productos de manera que el nivel de superposición está influenciado por la cantidad de aire de combustión. En particular, si no hay aire de combustión, todo el proceso es pirólisis y los productos finales son gases volátiles y carbonilla; si hay una cantidad correspondiente de aire, todos los productos inflamables y el carbón producido se queman. Idealmente, los únicos productos son agua, dióxido de carbono y nitrógeno molecular. El estado entre la pirólisis y la combustión completa se llama gasificación.

En algún nivel (macroscópico o microscópico), en cualquier dispositivo de combustión están presentes tanto condiciones pobres como ricas en combustible, y en condiciones

ricas en combustible, los materiales gaseosos producidos por pirólisis se pueden convertir en partículas finas. Si los productos de pirólisis permanecen en condiciones de escasez de combustible el tiempo suficiente, dependiendo de la temperatura de combustión, se convierten en productos de combustión completa. Cuantos más productos de pirólisis se liberen del combustible, más particulado fino se puede producir. Los productos de pirólisis son en su mayoría alquitranes de diversas masas molares, siendo los más destacados el levoglucosano cuya cantidad depende del tipo de biomasa. También, están presentes compuestos inorgánicos que contienen metales, sin embargo, el mecanismo principal del inicio de la generación de particulado fino es la ruptura de los alquitranes liberados durante la fase de pirólisis hasta la creación de acetileno C_2H_2 . A partir de lo anterior, es importante conocer la composición de la biomasa y su contenido volátil para determinar el número potencial de compuestos que pueden participar en la creación de particulado fino.

Como se observa, el acoplamiento de complejos mecanismos por causa de la heterogeneidad del combustible y de los propios parámetros de las respectivas estufas hacen inviable una caracterización particular que permita establecer parámetros tecnológicos teóricos de mejoras energéticas o ambientales. Conforme se observa en la literatura, estudios especializados y comentarios de fabricantes, la segmentación tecnológica única no es viable desde que existen múltiples variables que solo mediante experimentación son factibles de establecer.

Entre otros aspectos tecnológicos identificables entre los mercados nacionales e internacionales, son las diferentes opciones de fabricación de una estufa. En Norteamérica y Reino Unido se fabrican diferentes estufas a hierro fundido en relación a otras fabricadas de chapa con corte láser. Según comentarios y recomendaciones de compra de especialistas, la única diferencia entre ellos corresponde a elementos de inercia térmica, en el caso de estufas a chapa, calientan la edificación más rápida comparativamente con las de hierro fundido. Por el contrario, cuando se apagan las estufas a hierro fundido, calefaccionan durante más tiempo que aquéllas de chapa. No obstante, no existen diferencias de eficiencia energética o ambientales.

Finalmente, sobre la base de trabajos como los citados anteriormente y la revisión de la base de datos de estufas certificadas en países como EE.UU, no se observan avances significativos de eficiencia energética, por lo cual, es posible indicar que en la actualidad la tecnología a estufas a leña no permite incrementos radicales sino más bien se ve convergencia asintótica sobre los máximos posibles con la actual tecnología.

4.5. ANÁLISIS DE BARRERAS

Se realizó una revisión de información bibliográfica que permitiera identificar las distintas barreras existentes en el mercado, que dificultan o impiden la adopción de calefactores de pellets de madera o leña de mejor tecnología. Esto se complementó con la consulta directa a agentes del mercado.

4.5.1. DEMANDA: RESISTENCIA AL CAMBIO

A continuación, se describe la barrera, considerando cómo se manifiesta en el mercado, hasta estrategias de mitigación.

ANTECEDENTES GENERALES

En Chile existe diversa documentación que hace referencia a la costumbre del uso de leña en gran parte del sur de Chile. Si bien esta documentación está orientada a caracterizar el consumo, o bien, identificar las causas que dificultan el uso de otros combustibles alternativos a la leña, las conclusiones derivadas de éstas, también son aplicables en cierta medida a la resistencia al cambio por tecnologías de uso de leña con mejores eficiencias.

(Reyes, 2013), indica que el uso extensivo de leña y las costumbres asociadas a este uso permean a los distintos sectores socioeconómicos. Además, muchos de los atributos asociados al uso de leña, y valorados por los usuarios, no son necesariamente técnicos ni económicos, si no que se mencionan otros aspectos como el gusto personal, la costumbre o la falta de confianza frente a otros combustibles. Si bien estos indicadores están asociados al cambio de la leña por otro combustible, también pueden ser aplicables al recambio de tecnologías de calefacción. Esta costumbre arraigada en la población, también es mencionada en la Política de Uso de Leña y sus Derivados para Calefacción (Gobierno de Chile, 2015), en donde además se menciona, en el contexto de utilizar calefacción distrital, que los usuarios de leña no tienen la costumbre de recibir una cuenta variable a final de mes, donde no tengan el control del gasto, ya que típicamente la compra de leña se hace estacionalmente.

Otro estudio que refiere a la resistencia al cambio de los métodos tradicionales de calefacción a leña en el caso de Temuco y Padre Las Casas, corresponde a (Boso, 2018), en donde se entrevistaron a 25 personas. Se indica que en las narrativas de resistencia al cambio de los habitantes de Temuco hay un discurso en torno a la cultura. Se indica que existe un afecto heurístico al fuego, incluso en personas que han dejado de utilizar la leña. El análisis de las entrevistas apunta a la existencia de un discurso acerca de la tradición del uso de leña, en el que los participantes identifican el uso de calefacción a leña como parte de la identidad del sur de Chile. Como se puede apreciar, el enfoque principal del uso de leña tiene que ver con la tradición y la sensación de confort, más que con aspectos de eficiencia de los equipos. Esta última conclusión permite inducir que la eficiencia de los equipos no es necesariamente un criterio de preferencia de los equipos de calefacción y, por lo tanto, se transforma en una barrera para la adquisición de nuevas tecnologías más eficientes.

EFFECTOS SOBRE EL MERCADO

Si bien los estudios existentes sobre la resistencia al cambio hacen mención principalmente a la resistencia al cambio de la leña por otro combustible, las conclusiones se pueden extender a la resistencia al cambio de utilizar calefactores más eficientes, tengan o no el mismo combustible.

Resulta complejo cuantificar los efectos que tiene sobre el mercado de calefactores la resistencia al cambio de los usuarios. Como se mencionó previamente, los estudios principalmente apuntan al recambio de leña por otro combustible, por lo que no existe una cuantificación o análisis cualitativo sobre la resistencia al cambio a equipos de mayor eficiencia. Sin embargo, se puede concluir lo siguiente a través de los programas de recambio existentes:

- En el caso de calefactores a pellets de madera, se estima que quienes usan esta tecnología no tienen incentivos para buscar una tecnología más eficiente utilizando el mismo combustible, ya que el nivel de inversión para este tipo de calefactores es

elevado, y el uso de pellets de madera ya se presenta como una alternativa mucho más eficiente a la opción tradicional de la leña

- Para los calefactores a leña, desde el punto de vista del usuario existen únicamente estímulos para hacer cambio de combustible, pero no existen incentivos para utilizar equipos calefactores a leña de mayor eficiencia. Se estima que un usuario que busque una mayor eficiencia para calefacción, buscará la opción de calefactor a pellets de madera como primera alternativa, siempre que se ajuste a sus posibilidades económicas.

ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN

Según (International Energy Agency, 2018), el gobierno está conciente del desafío de poder reemplazar los calefactores ineficientes en el sur de Chile, y está realizando esfuerzos para contar con leña seca y para recambiar los artefactos existentes por artefactos más eficientes. Sin embargo, se señala que el alcance de estos programas es muy modesto para poder remediar el problema en el mediano plazo.

Actualmente, este programa de recambio únicamente entrega como equipos de recambio sistemas de aire acondicionado, calefactores a pellets de madera y estufas de parafina tipo Toyotomi, por lo que la mejora tecnológica realizable en este contexto tiene que ver con el recambio de calefactores a leña por calefactores a pellets de madera y no contempla la posibilidad de cambiar un artefacto a pellet por un artefacto a pellet más eficiente, o bien cambiar un artefacto a leña por un artefacto a leña más eficiente.

En los primeros años de aplicación del programa de recambio de calefactores, sí se contemplaba la entrega de calefactores a leña de mejor eficiencia, pero luego éste se retiró, debido a motivos técnicos y a que el desempeño de estos dependía en gran medida del usuario, con lo que no se podía asegurar su correcto funcionamiento. De esta manera, se pueden proponer las siguientes medidas de mitigación:

- Entregar equipos de calefacción a leña más eficientes dentro de los programas de recambio de calefactores, pero sometidos a algún seguimiento que permita asegurar el correcto uso de éstos.
- Persistencia de las campañas comunicacionales para el uso correcto de la leña seca y de calefactores.
- En el caso de calefactores a pellets de madera, se podrían aceptar calefactores con más de 10 años de antigüedad como parte del programa de recambio, y que se entreguen nuevos calefactores a pellets de madera de mayor eficiencia, aunque se estima que esta medida tendría un bajo impacto en comparación a los recambios que se hacen actualmente.

4.5.2. DEMANDA: PRECIO DE COMBUSTIBLES

ANTECEDENTES GENERALES

Esta barrera aplica únicamente cuando se quiere entender por qué un usuario de calefactores a leña no adopta la tecnología de calefactores a pellets de madera, que en general tienen mejores eficiencias. Esta barrera no aplica cuando se quiere evaluar porqué un usuario de leña o pellets de madera no invierte en una mejor tecnología, utilizando el mismo combustible.

El precio del pellet se puede obtener de los reportes del SERNAC publicados mensualmente para regiones con PDAs, en donde hacen un levantamiento simple sobre los precios de ambos combustibles, en lugares con venta de leña certificada. Tomando por ejemplo, el informe de precios para marzo 2021⁶⁹ en la Región de la Araucanía, se tiene que el precio por metro cúbico estéreo es de \$36.000 para Eucaliptus Nitens, y considerando una densidad promedio de 504 kg/m³s para esta especie y un poder calorífico de 12,1 MJ/kg (Universidad Católica de Temuco, 2015), se tiene que el precio de la leña de de 21,2 \$/kWh. En el caso de pellets, y considerando la misma referencia de SERNAC, se tiene un precio de 221 \$/kg, y con un poder calorífico de 4,8 kWh/kg, se tiene que el precio unitario del pellet de madera es de 46 \$/kWh, más del doble del precio de la leña.

EFFECTOS SOBRE EL MERCADO

No se encontró bibliografía relevante sobre el efecto del precio de pellets de madera para su adopción de manera masiva. Sin embargo, si se tiene evidencia de que la demanda por pellets de madera y por los calefactores que los combustionan, ha tenido un aumento importante en los últimos años. De acuerdo a AChBiom⁷⁰, la demanda de pellets de madera ha aumentado en un 900% entre el 2011 y el 2021 y se espera que este crecimiento siga de manear exponencial.

Lo anterior se puede explicar principalmente por las restricciones que tienen los calefactores de leña, así como por la baja en los precios de los calefactores de pellets de madera, el mayor poder adquisitivo de la población, y la mayor disponibilidad de pellets.

ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN

La principal estrategia para fomentar el uso de tecnologías de pellets corresponde a un subsidio a la inversión, a través del programa de recambio de calefactores del MMA. Sin embargo, esta estrategia de mitigación no está enfocada a la operación.

Una potencial estrategia de mitigación para esta barrera, podría ser un subsidio enfocado a los sectores más vulnerables, que los apoye económicamente para que la operación de los calefactores a pellets de madera no les represente un gasto mayor.

4.5.3. DEMANDA: PRECIO DE LA TECNOLOGÍA

A continuación, se describe la barrera, considerando cómo se manifiesta en el mercado, hasta estrategias de mitigación.

69 https://www.sernac.cl/portal/619/articles-62277_archivo_01.pdf

70 <https://amesti.cl/blog/venta-de-pellets-en-chile-aumenta-un-900-por-ciento-en-los-ultimos-10-anos/>
<https://www.diarioconcepcion.cl/economia/2021/04/09/mercado-del-pellet-en-chile-ha-crecido-900-durante-los-ultimos-10-anos.html>

ANTECEDENTES GENERALES

Al igual que para la resistencia al cambio tecnológico, las diversas conclusiones que se han obtenido de acuerdo a (Boso, 2018), las barreras económicas constituyen un elemento central de las narrativas de resistencia al cambio de los usuarios de estufas de leña. Dadas las características de las viviendas y el precio de los combustibles alternativos, el uso de artefactos a leña es, al día de hoy, el medio más económico para no pasar frío en invierno y, por consiguiente, el más utilizado por los estratos socioeconómicos más bajos de la población. Así, el beneficio percibido más citado por los entrevistados cuando se les pregunta por los calefactores a leña, era el factor económico.

EFFECTOS SOBRE EL MERCADO

De acuerdo a (DIPRES, 2019) existe una miopía del consumidor sobre los beneficios esperados, que retardan la toma de decisiones esperadas como "racionales", es decir, que el usuario realiza una inversión que tendrá beneficios posteriores. Adicionalmente, se indica que existe una baja disposición a pagar, debido a la baja valoración de los beneficios estimados de su consumo.

Los efectos sobre el mercado de los altos precios percibidos por el usuario no lograron ser identificadas de manera cuantitativa.

ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN

Es importante mencionar que se han realizado importantes esfuerzos para poder superar esta barrera, particularmente en los subsidios otorgados por los Planes de Descontaminación Atmosférica, en donde se puede acceder a subsidios para cambiar equipos de calefacción a leña por equipos más eficientes. Actualmente los equipos disponibles para recambio son de calefactores a pellets de madera y equipos de aire acondicionado, aunque en llamados anteriores han estado opciones de recambio por artefactos a parafina y también por artefactos a leña de mejor eficiencia⁷¹.

71 Los programas de recambio vigentes y de años anteriores se pueden ver en <https://calefactores.mma.gob.cl/>

Tabla 67. Número de calefactores a leña reemplazados por año en el marco de los Planes de Descontaminación Atmosférica y metas propuestas por Región

	PDA ⁷²	Vigencia ⁷³	Cambios realizados (Miles de calefactores)							Total (Miles)	Meta PDA (Miles)	% cumplimiento	Años cumplidos PDA	Años total PDA
			2015	2016	2017	2018	2019	2020						
V. C. O'Higgins	V	13-23	-	1,06	0,21	0,26	2,16	0,68	4,39	12,0	36,6%	7	10	
Talca y Maule	V	16-26	0,36	0,35	1,3	0,18	0,97	1,39	3,33	13,0	25,6%	4	10	
Chillán /C. Viejo	V	16-24	-	0,22	0,50	0,57	2,04	1,52	4,84	20,0	24,2%	4	8	
Temuco y PLC	V	15-20	0,57	1,68	1,54	1,00	0,56	2,41	7,77	37,0	21,0%	5	5	
Valdivia	V	17-27	-	-	0,26	0,24	0,22	0,25	0,97	26,0	3,7%	3	8	
Osorno	V	16-26	-	1,08	0,88	0,91	1,55	0,26	4,69	25,0	18,7%	4	10	
Coyhaique	V	16-26	0,07	1,03	1,69	1,29	1,85	1,30	7,17	10,0	71,7%	4	10	
V.C Curicó	V	20-30	-	-	1,01	0,68	-	2,00	3,70	10,0	37,0%	1	10	
Linares	M	P.D. 74			0,45	0,42	-	0,38	1,26	20,0	6,3%			
Los Ángeles	V	19-27	0,05	-	0,20	0,15	0,25	0,52	1,12	22,0	5,1%	1	10	
Gran Concepción	V	19-29	-	-	-	-	-	-	-	20,0	0,0%	-	10	
TOTALES			1,04	5,44	8,06	5,72	8,72	10,73	39,23	153,0	25,6%			

Fuente: Elaboración propia en base a (DIPRES, 2019) y <http://calefactores.mma.gob.cl>

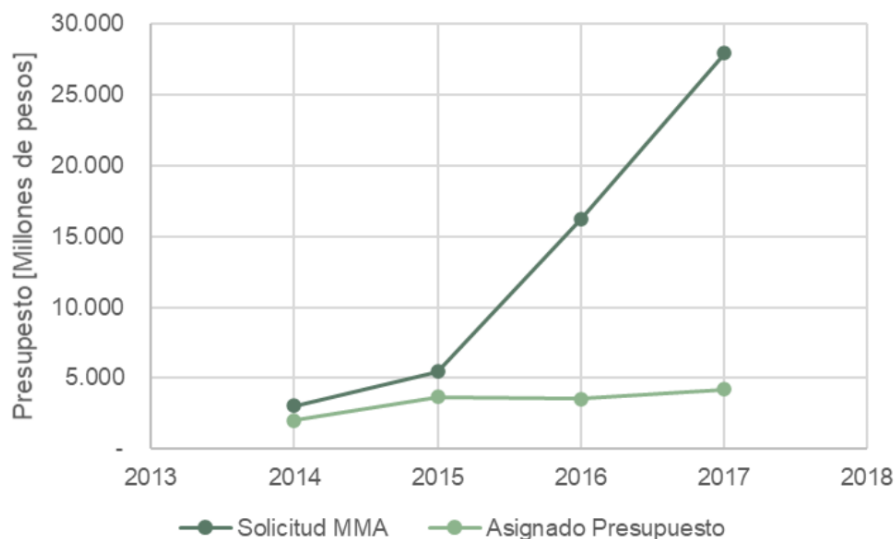
Esta diferencia entre las metas propuestas por cada PDA y los recambios efectivamente realizados, se puede explicar en gran medida por la diferencia entre los recursos solicitados por el Ministerio del Medio Ambiente y los recursos efectivamente asignados (DIPRES, 2019). Esto se puede apreciar en la figura siguiente:

72 V significa que el plan está vigente. M significa que está en período de mediciones.

73 La columna indica los años de vigencia, sin los dos primeros dígitos. Así, 13-23 significa que la vigencia es entre el 2013 y el 2023

74 Por definir.

Figura 60. Solicitud de presupuesto para recambios de calefactores solicitada por MMA, versus presupuestos efectivamente asignados



Fuente: (DIPRES, 2019)

Además de las dificultades para poder obtener el financiamiento, también el presupuesto para los programas de recambio de calefactores se ha visto afectado por la pandemia. Esto se ve reflejado en la reducción de los presupuestos para el Programa de Calefacción Sustentable del año 2021, con una disminución de un 25% (1.700.000.000) con respecto al año 2020 (DIPRES, 2020) (Circular, 2020). A pesar de esta reducción en el presupuesto, el Ministerio de Medio Ambiente indica que habrá un aumento en la cantidad de calefactores recambiados, debido a mejoras en el proceso de licitación (Ministerio de Medio Ambiente, 2021). Las falencias en los mecanismos de licitación habían sido previamente detectadas en (DIPRES, 2020) y se habían realizado recomendaciones para mejorarlas. Sin embargo, no existen aún resultados que permitan determinar el impacto de estas recomendaciones.

4.5.4. DEMANDA: CALIDAD Y DISPONIBILIDAD DEL COMBUSTIBLE

A continuación, se describe la barrera, considerando cómo se manifiesta en el mercado, hasta estrategias de mitigación.

ANTECEDENTES GENERALES

Se establece la calidad y disponibilidad del combustible como una barrera para la adopción de nuevas tecnologías más eficientes, ya que las ventajas económicas y de confort que potencialmente tendrían equipos de mejores tecnologías, requieren el uso de combustible de calidad para poder ser apreciadas por el usuario. Por ejemplo, con respecto a la leña, según (Boso, 2018), ésta se reconoce como de fácil disponibilidad y de bajo costo, aunque los mismos entrevistados reconocen que la calidad de ésta no es la adecuada.

En el caso del pellet, durante el primer semestre del 2020 se presentó una escasez del producto en la zona sur del país. Ésta estuvo causada, en parte, por el aumento en la

demanda del combustible, pero también por la falta de materia prima asociada a la quiebra de Maderas Venturelli a fines del 2019, y a una huelga de 43 días que afectó a Promasa en abril del año 2020⁷⁵. En cuanto a la calidad de los pellets de madera, uno de los entrevistados indica que los productos fabricados fuera de Chile están diseñados para trabajar con una calidad superior de pellets de madera a las del mercado nacional y esto, eventualmente, trae problemas para la vida útil del calefactor y aumenta los costos de mantenimiento.

Según Infor (Pinilla J. C., 2020) la norma del Instituto Nacional de Normalización (INN) sobre producción y clases de pellets de madera no es obligatoria en Chile. Existe un único tipo de pellet, de longitud 6 mm y no existe diferencia si es utilizado para caldera o estufa. El 97% de la biomasa es de pino radiata, correspondiente a viruta y aserrín seco provenientes de aserraderos y remanufactura.

Indica además que el uso del pellet es considerado un mercado con incertidumbres, sobre todo en lo relacionado con la seguridad de suministro para los fabricantes de materia de prima calidad adecuada.

EFFECTOS SOBRE EL MERCADO

Como se argumentó previamente, existen dos factores que podrían potencialmente afectar el mercado de calefactores a leña y pellets de madera:

- Calidad de la leña: Al existir un mercado informal importante de leña, sin mayores garantías de calidad, al usuario le resulta indiferente la elección de un artefacto eficiente o no, ya que los beneficios del artefacto a leña eficiente no se verán reflejados al utilizar un combustible de baja calidad.
- Disponibilidad del pellet: Lo ocurrido con el pellet durante el año 2020 puede generar desconfianzas en los usuarios a la hora de seleccionar un calefactor a pellet, proviniendo de otro combustible como leña. En el caso de los usuarios que ya cuentan con calefactores a pellets de madera, el efecto debería ser menor.

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

En el caso de pellets de madera, según (Pinilla J. C., 2020), algunas de las medidas que se están tomando para asegurar el crecimiento y la diversificación del pellet en Chile, son las siguientes:

- Desarrollo de una plataforma para concentrar, mejorar e incentivar el ecosistema de la producción y comercialización del pellet en Chile.
- Generar los medios para asegurar la provisión sostenible de la información generada y su gestión para su uso por empresas y usuarios de pellets de madera.
- Implementar un programa de difusión y transferencia de resultados e información sobre el pellet.

75 <https://www.terram.cl/2020/08/una-tormenta-perfecta-genera-escasez-de-pellets-para-calefaccion-en-la-zona-sur/>

Para el caso de la leña, la calidad de ésta es un tema que ha sido tocado por diversas políticas públicas que pueden ser fortalecidas:

- Declaración de la leña como un combustible (Ley de Biocombustibles Sólidos): esta ley, según (Ministerio de Energía, 2021), propone regularla en lugar de prohibirla, declararla como combustible, y se plantean una serie de requisitos para su comercialización, contemplando certificación para productores de leña y reconoce la métrica de venta de leña, para estandarizar el formato de venta. De esta manera, asumiendo que el problema de calidad de la leña se resuelve, con un mercado regualdo que ofrece en su totalidad leña seca de calidad, se puede poner mayor énfasis en otros aspectos de la discusión como la eficiencia de los equipos, la calidad de pellets, etc.
- Campañas comunicacionales: existen diversas campañas comunicacionales que apuntan a que el usuario de calefactores a leña utilice leña de buena calidad. Se estima que un usuario de leña de buena calidad potencialmente tendría un mayor interés en mejorar la eficiencia de su equipo calefactor.

Las consecuencias asociadas a la regulación de la calidad del pellet de madera, podrían tener efectos sobre el costo (mayores costos asociados a la certificación más estricta), y también sobre la disponibilidad de éste (podrían quedar proveedores sin capacidad de certificar sus productos). No se encontró bibliografía relevante que pudiera cuantificar estos efectos sobre el mercado del pellet de madera.

4.5.5. PUESTA EN VALOR DE ATRIBUTOS DE EFICIENCIA

A continuación, se describe la barrera, considerando cómo se manifiesta en el mercado, hasta estrategias de mitigación.

CONTEXTO GENERAL

Un punto que surgió de las entrevistas realizadas a fabricantes y distribuidores de artefactos calefactores de leña y pellets de madera a nivel nacional, es que los atributos de eficiencia de los calefactores no son apreciados por los consumidores, debido principalmente al factor de precio, el cual se discutió previamente, y también a la imposibilidad de destacar de mejor manera algunos atributos de eficiencia.

Lo anterior se ve reflejado principalmente en las categorías de eficiencia energética existentes en el caso de los calefactores a leña y pellets de madera, que va entre las categorías A y E, lo que significa un total de cinco categorías. Como referencia, el etiquetado de eficiencia energética europeo para estufas y chimeneas tiene desde las categorías A++ hasta la categoría G, para un total de nueve categorías, lo que permite que los equipos que presentan mejores eficiencias realmente logren destacar sobre el resto. Esta observación es aún válida si se mantienen categorías entre, por ejemplo, la A y la G, pero los rangos de cada categoría deben ser correctamente evaluados para que permitan una fácil comprensión del usuario final y para que los proveedores puedan poner en valor sus atributos de eficiencia.

Otro aspecto importante, es que para el usuario resulta difícil cuantificar el impacto económico de escoger un equipo de leña más eficiente, ya que los indicadores que muestra la etiqueta solamente a la eficiencia energética de manera porcentual tomando

como referencia la línea base de comparación. Como punto de referencia, se tiene el etiquetado energético de los electrodomésticos, que indican el nivel de consumo energético mensual estimado, lo que permite hacer comparaciones directas entre distintos artefactos.

EFFECTOS SOBRE EL MERCADO

Para el usuario que quiere optar por un calefactor a leña o pellets de madera, es difícil valorar el ahorro que éste le podría generar y, además, le resulta difícil distinguir entre dos calefactores tipo A, ya que esta categoría resulta muy amplia.

Desde el punto de vista del importador o el fabricante de calefactores, no se tienen los incentivos para poder poner en el mercado calefactores con mayores niveles de eficiencia, nuevamente debido a la amplitud de la categoría A y a que el usuario no valorará los aumentos en eficiencia.

Lo anterior también ha sido notado por fabricantes y proveedores entrevistados, que reconocen que el efecto de la etiqueta de eficiencia energética ha sido muy bajo o nulo con respecto a las preferencias de los consumidores.

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Una medida de mitigación que permitiría poner en valor los atributos de eficiencia de los calefactores, es ampliar la cantidad de categorías, imitando el etiquetado solicitado por la normativa europea que va desde la letra G a la letra A⁷⁶. La propuesta no implica necesariamente seguir este mismo esquema, pero sí estudiar y revisar bien la cantidad y la métrica de cada categoría. Esta mitigación sería especialmente adecuada para calefactores a pellets, ya que la mayoría se encuentra en la parte superior del etiquetado y esto no les permite destacar sus atributos de eficiencia.

Otra medida que permitiría al consumidor tomar una decisión informada, es indicar la estimación de los consumos mensuales de manera similar a lo que muestran los electrodomésticos. Adicionalmente, y entendiendo que los costos de calefacción son importantes para los usuarios finales, también puede ser recomendable cuantificar los ahorros económicos de manera porcentual con respecto al caso base, para ser integrados en la etiqueta.

Por último, como complemento a estas medidas de mitigación, se proponen campañas comunicacionales que den cuenta de los ahorros generados por equipos más eficientes, así como los períodos de retorno de la inversión, la renovación de equipos luego de su vida útil, y otros aspectos que ayudan al consumidor a tomar una decisión más informada, y presentan los incentivos para que proveedores y fabricantes apunten a contar con equipos de mejor eficiencia.

De manera similar a lo que ocurre con la eficiencia, la información entregada por el etiquetado respecto a emisiones es difícil de comprender para la gran mayoría de los usuarios, dado que no es directo realizar una comparación con el resto de las versiones existentes en el mercado. Una alternativa podría ser calificar con una escala de grises los calefactores según las emisiones de MP, pudiendo el usuario identificar de manera sencilla,

⁷⁶ Previamente, las categorías llegaron al etiquetado A++.

aquellos que son “más limpios”, de aquellos que tienen mayores emisiones de contaminantes atmosféricos.

4.5.6. PROCESOS DE CERTIFICACIÓN

A continuación, se describe la barrera, considerando cómo se manifiesta en el mercado, hasta estrategias de mitigación.

ANTECEDENTES GENERALES

De acuerdo a entrevistas realizadas a fabricantes y proveedores de calefactores a leña y pellets de madera, una barrera importante para poder realizar nuevos desarrollos tecnológicos, son los altos costos de certificación asociados y la necesidad de certificar por lotes de manera continua⁷⁷. En efecto, los protocolos de certificación de seguridad (protocolo PC-200 y PC-201), eficiencia energética (PC-200/1 y PC-201/1) y emisiones (PC-200/2 y PC201/2) son sistemas de certificación de tipo 1⁷⁸ según el decreto 298 /2006 de Ministerio de Economía. Este sistema de certificación, denominado “Ensayo de Tipo Seguido del Control Regular de los Productos” está basado en el ensayo tipo, y acción de seguimiento, para verificar la conformidad de la producción subsiguiente. En el caso que los productos sean importados, se debe emitir un certificado de seguimiento para cada importación, donde se ensaya una muestra del lote, y se aplican los ensayos críticos para determinar la seguridad del producto (normalmente son menos ensayos que la certificación de Tipo). En el caso que el calefactor sea de fabricación nacional, mensualmente se debe emitir un Certificado de Seguimiento tomando una muestra del lote de fábrica, seleccionada del lote de producción antes de su entrega al cliente.

Para la certificación en materias de eficiencia energética y emisiones de material particulado de ambos calefactores, se utiliza principalmente el sistema de certificación 1, descrito anteriormente, con la diferencia que el seguimiento se efectúa a una unidad seleccionada, anualmente, del lote de producción de la fábrica o de la importación, independientemente de la magnitud del lote que se trate

Además de los altos precios de la certificación, una vez autorizada la comercialización del producto, los fabricantes e importadores deben remitir mensualmente a la SEC la información de su producción o de las nuevas partidas del producto importado. La certificación tiene una vigencia de 18 meses.

De esta manera, para desarrollar una mejora tecnológica que apunte a una mejor eficiencia de los calefactores, sean estos a leña o a pellets de madera, los proveedores indican que se requiere de un capital importante para poder certificar los calefactores, además de contar con lotes de manera previa a este proceso de certificación.

⁷⁷ Esto aplica principalmente para la certificación de seguridad, pero también se deben tener en cuenta los costos asociados a certificación de emisiones y eficiencia energética.

⁷⁸ La certificación de producto tipo 1 según INN 100-611 “es un método según el cual una muestra del producto se somete a ensayo conforme a un método de ensayo prescrito, con el objeto de verificar el cumplimiento de un modelo con una especificación. Es la forma más simple y más limitada de certificación independiente de un producto desde el punto de vista del fabricante y de la autoridad que da la aprobación.”

EFFECTOS EN EL MERCADO

Los altos costos de certificación, que de acuerdo a una de las entrevistas realizadas pueden alcanzar hasta el 40% de los costos de producción⁷⁹, implican que el proveedor tiene un desincentivo a la mejora continua de sus productos, ya que cualquier mejora introducida debe ser primero probada y certificada con altos costos.

Dicho de otra manera, una vez que los proveedores o fabricantes son capaces de lograr un modelo que se certifique de manera adecuada, no tienen ningún estímulo para poder integrar otras mejoras a los calefactores, ya que esto tendrá un alto costo.

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Como principal medida de mitigación, se propone revisar los períodos de certificación distintos aspectos para los calefactores. Se propone la realización de un estudio en profundidad para determinar el período óptimo de la certificación, de manera que esta no sea una barrera para las mejoras tecnológicas. De esta manera, los proveedores y fabricantes tendrán una mayor holgura económica que les permita introducir mejoras tecnológicas. Esta medida debe ser acompañada con un requerimiento más estricto sobre eficiencias y/o emisiones.

Otra medida propuesta es facilitar ensayos “previos” o “preliminares” de manera gratuita o a bajo costo para distribuidores o fabricantes que quieran introducir nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia de sus equipos. Se debe analizar una fuente de financiamiento para poder otorgar este tipo de ensayos preliminares, que de manera preliminar se propone podría venir de CORFO o del presupuesto del Ministerio de Energía o Medio Ambiente.

4.5.7. OFERTA: BARRERAS ECONÓMICAS PARA EL PROVEEDOR

A continuación, se describe la barrera, considerando cómo se manifiesta en el mercado, hasta estrategias de mitigación.

CONTEXTO GENERAL

Esta barrera está estrechamente ligada con las barreras de precios para el usuario. Como se mencionó anteriormente, una de las principales barreras para poder tener una mayor demanda de equipos eficientes, es lograr que el comprador de la tecnología esté dispuesto a realizar una mayor inversión inicial. Típicamente el costo de la inversión es un factor de decisión importante a la hora de comprar un equipo, mientras que el costo de operación queda relegado.

Como muestra de lo anterior, se puede mencionar un estudio realizado en Suecia entre los años 2004 y 2008 (Mahapatra K., 2009), en donde se entrevistó a 1.500 propietarios de viviendas y consistentemente se obtuvo que la mayor prioridad es el aspecto económico, por sobre los aspectos ambientales a la hora de instalar nuevos sistemas.

⁷⁹ La certificación de producto tipo 1 según INN 100-611 “es un método según el cual una muestra del producto se somete a ensayo conforme a un método de ensayo prescrito, con el objeto de verificar el cumplimiento de un modelo con una especificación. Es la forma más simple y más limitada de certificación independiente de un producto desde el punto de vista del fabricante y de la autoridad que da la aprobación.”

En Chile también existen experiencias que afirman la importancia del costo inicial en comparación a los costos de operación. Se puede mencionar el ejemplo del proyecto piloto de calefacción distrital de San Sebastián en Temuco, donde las viviendas contaban con sistemas de calefacción a leña y a gas licuado; la propuesta del proyecto piloto era reemplazar estos sistemas a través del sistema de energía distrital, a precios menores que la combinación del uso de gas y leña. Sin embargo, para poder hacer uso de el calor provisto por el sistema distrital, se requería instalar una red de distribución en la vivienda, con un costo en torno a los 3 millones de pesos.

Así, la barrera de la poca disponibilidad de pago de los usuarios se traduce en que los fabricantes y los proveedores de los artefactos calefactores estén limitados en sus opciones a la hora de desarrollar o importar nuevas tecnologías que mejoren la eficiencia de los sistemas, como sistemas catalíticos o sistemas más sofisticados de aire secundario, que tienen un costo elevado.

EFECTOS SOBRE EL MERCADO

El precio de los sistemas es uno de los aspectos prioritarios para los usuarios a la hora de decidir sobre qué equipos comprar. De acuerdo a uno de los proveedores entrevistados, los atributos que más valoran los usuarios finales son, en orden descendente: el precio, la marca y el diseño. De esta manera, la eficiencia no es uno de los aspectos relevantes para proveedores o fabricantes y se enfocarán en conseguir mejores precios, o en darle valor a su marca.

Otro ejemplo citado de las entrevistas con respecto a esta barrera, tiene que ver con las dificultades logísticas y el aumento de costos que puede traer el cambiar alguna propiedad del calefactor. Se citó como ejemplo la ampliación del volumen de la cámara de combustión para mejorar la eficiencia del equipo, pero su aplicación significaría que los contenedores en los cuales se importan los equipos tendrían menor capacidad de almacenamiento, con lo cual habría mayores costos para el usuario. También un entrevistado mencionó que más que buscar el equipo de mejor eficiencia en el mercado internacional, se privilegian los tratos a largo plazo con los fabricantes, de manera de tener continuidad y seguridad del stock.

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Para que los proveedores y fabricantes tengan los estímulos correctos para traer o fabricar equipos de mayor costo, pero con mayor eficiencia energética, las principales medidas están asociadas a poner en valor estos atributos de eficiencia, para que los consumidores tengan mejor disposición a pagar. Sin embargo, es posible que muchas de las medidas puedan resolverse sin mayores costos para el usuario final, como se ve en los análisis de precios realizados a lo largo de este informe. La puesta en valor de los atributos de eficiencia se logra con un etiquetado energético más claro y atractivo para el usuario, con campañas de comunicación y otras medidas de difusión.

Otra medida que podría estudiarse, correspondería a una medida similar al programa de recambio de calefactores, y sería generar programas de investigación y desarrollo, por ejemplo, a través de CORFO, para la incorporación de mejoras energéticas en sus calefactores. Si bien es difícil asociar una medida en particular a una mejora de la eficiencia, es posible realizar diversos cambios en los diseños que permitan a través de prueba y error mejorar la eficiencia de los equipos.

4.5.8. ELECTRIFICACIÓN DE LA MATRIZ

La electrificación de la matriz se plantea como una barrera que perciben los proveedores, ya que se fomenta el uso de otras tecnologías más limpias y potencialmente los proveedores no tienen los estímulos para buscar mejores eficiencias en equipos que podrían verse como obsoletos al lado de otras alternativas como las bombas de calor.

CONTEXTO GENERAL

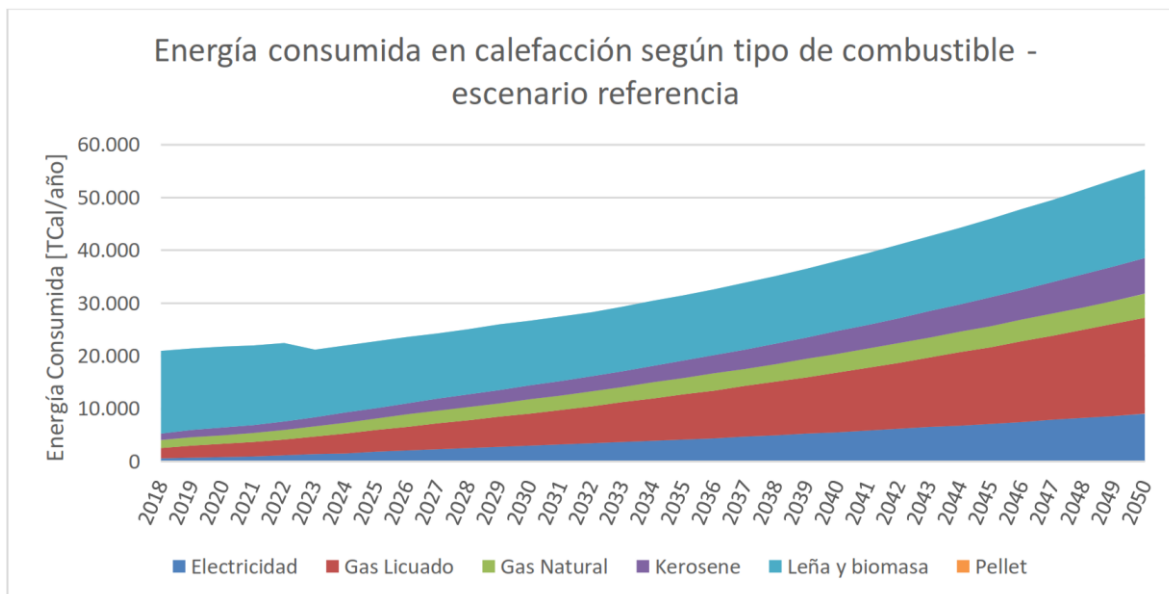
Una barrera percibida por los proveedores para la mejora de las eficiencias de calefactores a leña y pellets de madera en Chile, está relacionada con las diversas políticas públicas que apuntan a la electrificación de la matriz térmica, lo que podría ser percibido por los fabricantes y distribuidores como un desincentivo para mejorar estas tecnologías⁸⁰, ya que son percibidas como una tecnología que tendería a desaparecer en reemplazo de otras como bombas de calor.

Como principal referencia a la electrificación de la matriz, se puede mencionar la Estrategia de Transición Energética Residencial (Ministerio de Energía, 2020) y el programa “Recambia tu calor”, que ofrece una tarifa eléctrica menor para incentivar el uso de calefacción eléctrica en reemplazo de la leña.

La proyección del Ministerio de Energía sobre la participación de la leña en la matriz energética nacional se ve a continuación en un escenario de referencia, que corresponde a un escenario “Business as Usual” y a un escenario en donde se toman medidas para lograr la meta de carbono neutralidad al 2050 comprometida por Chile en la COP.

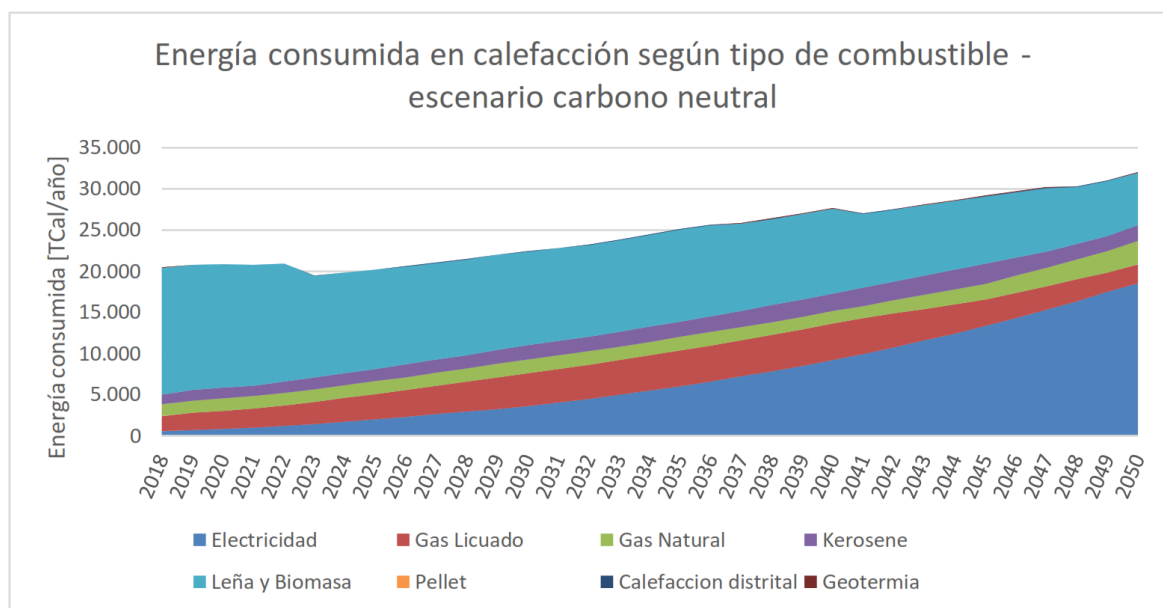
⁸⁰ Ver por ejemplo <http://generadoras.cl/prensa/destacan-la-electrificacion-de-la-matriz-como-la-principal-oportunidad-ambiental-y-economica-para-el-desarrollo> o https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/20201230_actualizacion_pelp_-_iaa_2020_1.pdf

Figura 61. Energía consumida en calefacción según tipo de combustible para el escenario de referencia.



Fuente: Elaboración propia en base a (Ministerio de Energía, 2020)

Figura 62. Energía consumida en calefacción según tipo de combustible para el escenario de carbono neutralidad



Fuente: Elaboración propia en base a (Ministerio de Energía, 2020)

La participación de la leña y otros combustibles relevantes, en los escenarios de Carbono Neutralidad (CN) y los escenarios de referencia, se puede ver a continuación de manera detallada:

Tabla 68. Participación de la leña y otros energéticos en la matriz

Porcentaje de participación	2020	2040	2050
Leña CN*	72%	37%	20%
Leña Ref	70%	35%	30%
Electricidad CN	4%	33%	58%
Electricidad Ref	4%	15%	16%
GN + GLP CN	18%	21%	16%
GN + GLP Ref	19%	39%	41%
Kerosene CN	6%	8%	6%
Kerosene Ref	7%	11%	12%
Calefacción Distrital CN	0,0%	0,2%	0,2%
Calefacción Distrital Ref	0%	0%	0%

* leña incluye también a pellets de madera

Fuente: Elaboración propia en base a Ministerio de Energía.

EFECTOS SOBRE EL MERCADO

El principal efecto que tienen las políticas de electrificación de la matriz, es que indirectamente generan desincentivos a distribuidores y fabricantes a realizar mejoras tecnológicas en sus equipos, y a enfocarse en tecnologías con mayor futuro como bombas de calor. Esto no quiere decir que los calefactores a leña o pellets vayan a disminuir, pero se percibe que su participación en el mercado será menos relevante.

La electrificación de la matriz energética, si bien se espera que sea en el largo plazo, se estima que trae consecuencias en el mercado actual de calefactores de leña y pellets de madera, haciendo que los atributos que destacan fabricantes y proveedores van enfocados a diseño, precio en relación a otros energéticos y confort. Se estima que una política más orientada al uso correcto y eficiente de leña y pellets de madera permitiría un enfoque sobre la eficiencia de los artefactos en comparación a otros de su misma clase.

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Si bien esta barrera hace referencia a una política a largo plazo, se debe tener en cuenta que la principal motivación sobre esta política está asociada a los altos niveles de contaminación existentes sobre el sur de Chile. Se estima que el establecimiento de la leña y el pellet como biocombustibles sólidos, sea un paso importante para que las políticas de reemplazo de leña den lugar a políticas de un uso correcto de esta, y de la mejora de las características de los equipos.

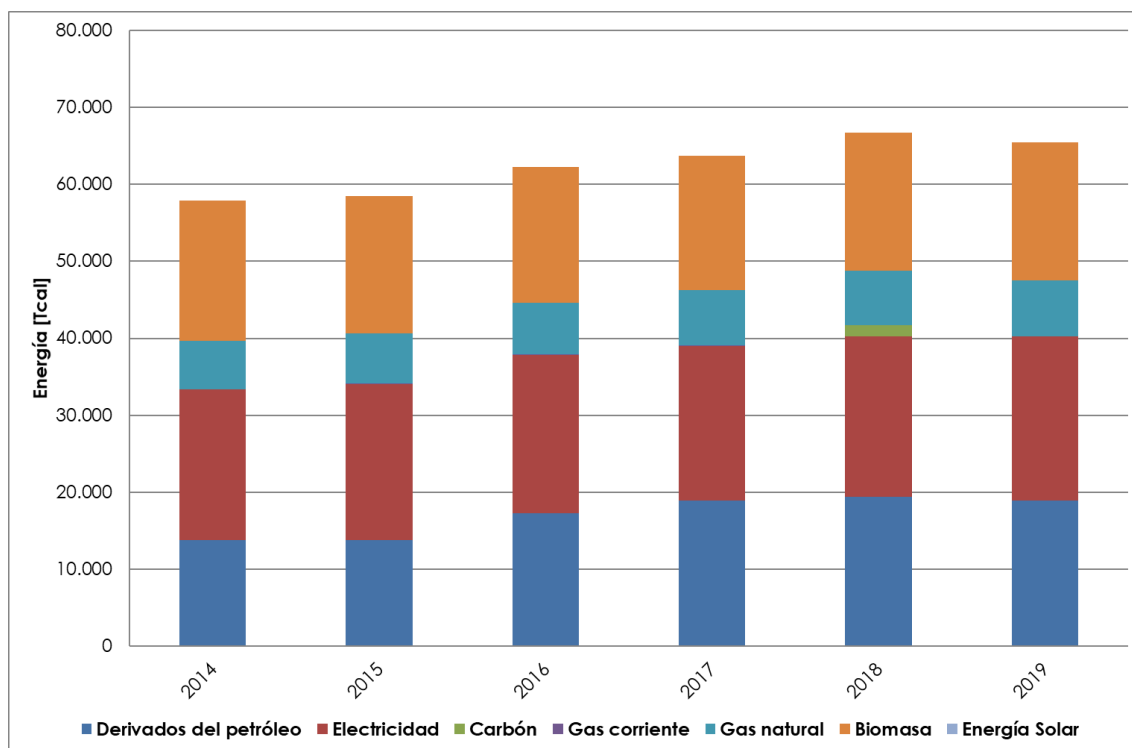
Otra medida de mitigación corresponde a poner en valor otras propiedades positivas del uso de leña y pellets de madera sobre la electrificación de la matriz, como, por ejemplo, el uso de recursos energéticos nacionales, la creación de empleo y la independencia energética. Al poner en valor estos atributos, se estima que podría tener un efecto positivo sobre la oferta de calefactores a leña y pellets de madera, valorando sus atributos de eficiencia y reducción de emisiones.

5. CARACTERIZACIÓN DEL USO DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS EN CHILE

De la observación de los Balances Nacionales de Energía (BNE)⁸¹ publicados por el Ministerio de Energía, es posible mencionar, que en 2019, a nivel nacional, considerando los consumos finales, el 12,6% correspondió a biomasa⁸², mientras que si se considera el consumo total, que incluye el consumo de los centros de transformación, la participación de la biomasa se eleva al 13,7%.⁸³

En lo que respecta a la evolución del consumo desde 2014, para los sectores residencial, público y comercial, que son los sectores que pueden verse más impactados por el etiquetado de productos, se puede apreciar que el consumo se mantiene relativamente estable, con una leve tendencia a la baja, como se muestra en las figuras siguientes:

Figura 63. Consumo energético en Chile, sectores comercial, público y residencial, año 2014 a 2019



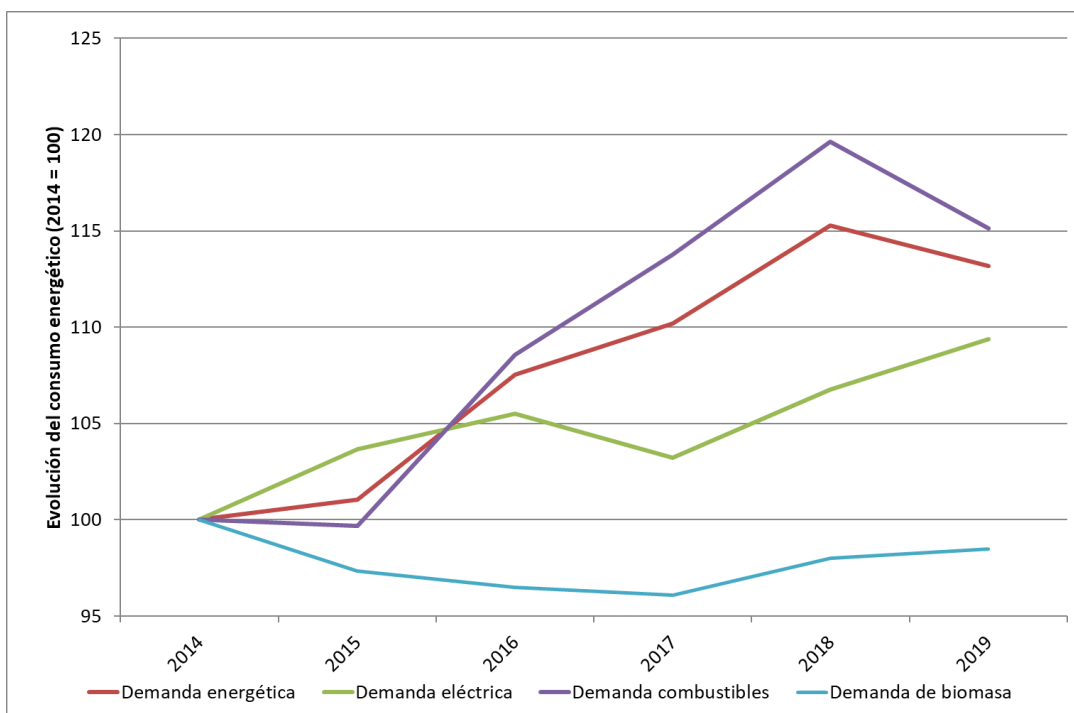
Fuente: Elaborado en base a datos de los BNE

81 Obtenidos desde <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/balance-de-energia/>

82 Se reporta un consumo de biomasa de 38.102,85 Tcal, mientras el consumo final total ascendió a 301.628,81 Tcal.

83 Se reporta un consumo de biomasa total de 81.354,92 Tcal, mientras el consumo total ascendió a 595.153,57 Tcal, ambos incluyendo el consumo de centros de transformación.

Figura 64. Evolución del consumo energético en Chile, para los segmentos comercial, público y residencial, periodo 2014-2019



Fuente: Elaborado en base a datos de los BNE

Al revisar el consumo de biomasa en los sectores residencial, público y comercial, es posible apreciar que el 99,2% corresponde al segmento residencial, como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 69. Distribución del consumo de biomasa en los sectores comercial, público y residencial, año 2019

	Consumo (Tcal)	Participación (%)
Comercial	62	0,3%
Público	82	0,5%
Residencial	17.898	99,2%

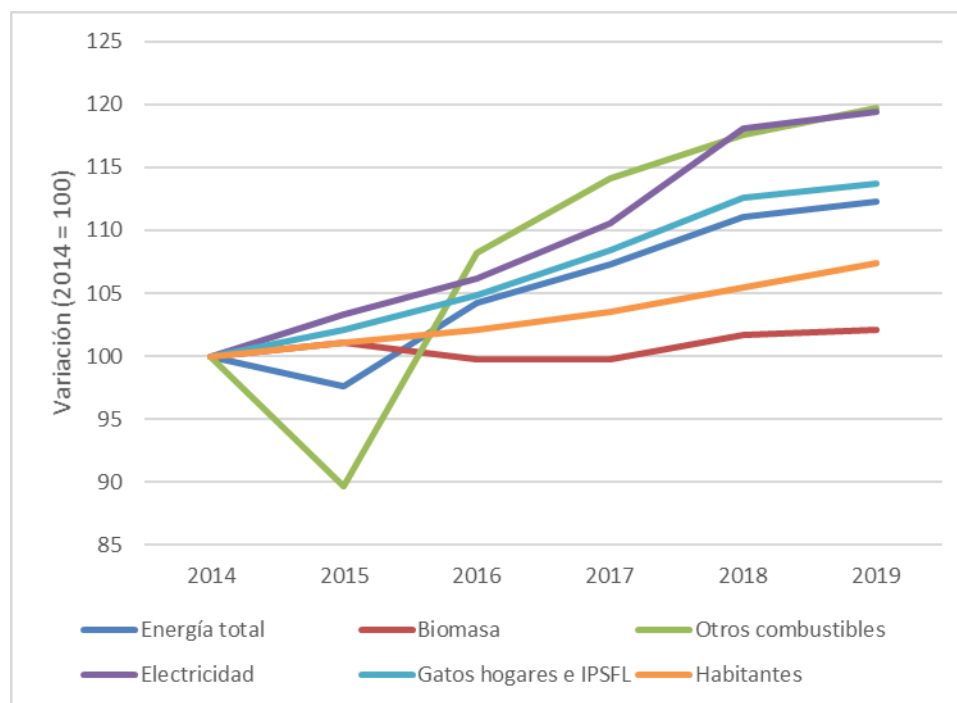
Fuente: Elaborado en base a datos de los BNE

Considerando la relevancia del sector residencial, los análisis se centran en dicho sector.

5.1. CONSUMO TOTAL DE BIOMASA EN EL SECTOR RESIDENCIAL

El consumo de biomasa de los hogares e instituciones privadas sin fines de lucro que los atienden (IPSFL) ha crecido menos que el consumo total de energía, el consumo de otros energéticos y el gasto, como puede apreciarse de la observación de la Figura 3.

Figura 65. Evolución del gasto y consumo energético en el sector residencial, 2014 a 2019



Fuente: Elaborado en base a datos de los BNE, cuentas nacionales del Banco Central⁸⁴ y proyecciones demográficas del INE⁸⁵

Dado el alcance de este estudio, no es posible establecer de manera clara las razones para la evolución energética observada en el sector, sin embargo, a juicio del equipo consultor, podría deberse a lo siguiente:

- El aumento del consumo de electricidad podría explicarse por el aumento del poder adquisitivo de los hogares. Con un mayor poder adquisitivo, los hogares pueden acceder a más servicios energéticos.
- La disminución del consumo de biomasa podría explicarse por políticas públicas como el recambio de calefactores, acondicionamiento térmico de las viviendas o el etiquetado de calefactores. Estos hacen que el consumo sea más eficiente.
- Las variaciones entre combustibles podrían explicarse por el cambio entre ellos, por ejemplo, la electrificación de usos térmicos, dejar de usar biomasa dadas las restricciones que impone la autoridad basada en criterios ambientales.

5.2. CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE BIOMASA

En 2018 se desarrolló un estudio para la caracterización del uso de combustibles sólidos en Chile, a través de la realización de 3.500 encuestas presenciales, orientadas al segmento

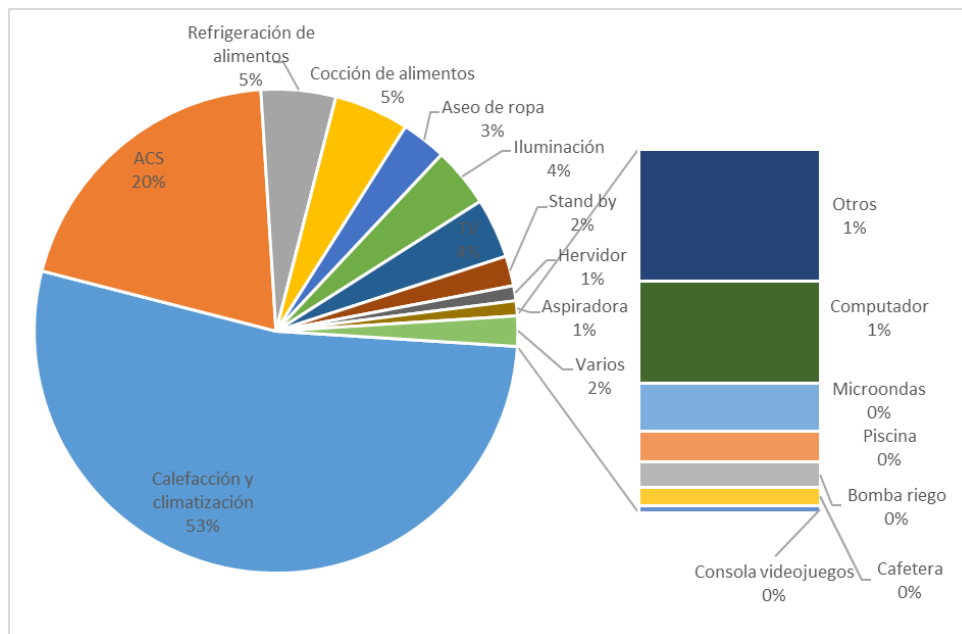
84

https://si3.bcentral.cl/estadisticas/Principal1/enlaces/Informes/AnuariosCCNN/anuario_CCNN_2020.html

85 <https://www.ine.cl/estadisticas/sociales/demografia-y-vitales/proyecciones-de-poblacion>

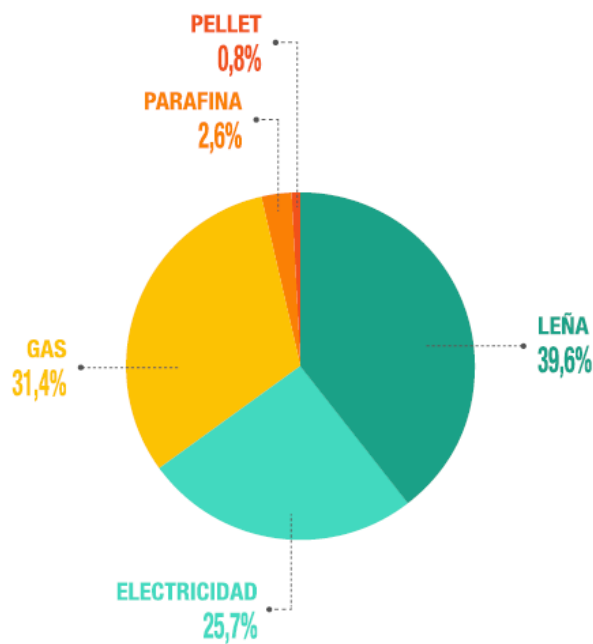
residencial. En (In-Data, CChC, 2019) se procedió a caracterizar a nivel nacional los usos finales de la energía, y el consumo energético para el segmento residencial, resultados que se muestran en las figuras siguientes:

Figura 66. Usos de la energía en el segmento residencial, Chile, año 2018



Fuente: (In-Data, CChC, 2019)

Figura 67. Consumo de energía a nivel residencial en Chile, 2018



Fuente: (In-Data, CChC, 2019)

En el mismo estudio se entrega una desagregación por sector de consumo, destacándose que a nivel país, el 80,4% de las viviendas utiliza algún tipo de calefacción. Los resultados desagregados por zona térmica (ZT) se muestran en la Tabla 70 y por nivel socio-económico (NSE) en la Tabla 71:

Tabla 70. Uso de sistemas de calefacción en Chile, por ZT, año 2018

	Nacional	ZT1	ZT2	ZT3	ZT4	ZT5	ZT6	ZT7
Sí usa algún tipo de calefacción	80,4%	21,3%	69,2%	88,5%	93,3%	99,1%	98,6%	100%
	5.48.293	163.282	532.417	2.358.280	1.069.831	515.461	311.219	97.803
No usa algún tipo de calefacción	19,6%	78,7%	30,8%	11,5%	6,7%	0,9%	1,4%	0%
	1.232.182	604.164	236.681	305.743	76.526	4.474	4.553	41

Fuente: (In-Data, CChC, 2019)

Tabla 71. Uso de sistemas de calefacción en Chile, por NSE, año 2018

	Nacional	C1	C2	C3	D-E
Sí usa algún tipo de calefacción	80,4%	92,9%	84,7%	74,1%	79,8%
	5.48.293	797.539	790.005	1.580.451	1.880.299
No usa algún tipo de calefacción	19,6%	7,1%	15,3%	25,9%	20,2%
	1.232.182	61.151	142.478	551.124	477.429

Fuente: (In-Data, CChC, 2019)

Del total de las viviendas que utilizan calefacción, a nivel nacional, el 97,3% de las viviendas utiliza calefactores individuales, el 2,4% calefacción central y el 0,3% ambos. A continuación, se presenta la información de aquellos cuyo calefactor individual principal y secundario funciona con leña y pellet.

Tabla 72. Uso de sistemas de calefactor individual principal a leña y pellets de madera en Chile, año 2018

	Nacional	ZT1	ZT2	ZT3	ZT4	ZT5	ZT6	ZT7
Usa calefactor a leña	39,1%	13,9%	26,1%	12,2%	67,7%	87,9%	92,7%	46,7%
	1.928.884	22.056	138.601	278.058	716.290	447.919	285.828	40.133
Usa calefactor a pellets de madera	0,8%	2,1%	1,5%	0,2%	0,2%	3,1%	1,8%	0,9%
	39.423	3.373	8.077	3.869	2.293	15.601	5.408	802

Fuente: (In-Data, CChC, 2019)

Tabla 73. Uso de sistemas de calefactor individual secundario a leña y pellets de madera en Chile, año 2018

	Nacional	ZT1	ZT2	ZT3	ZT4	ZT5	ZT6	ZT7
Usa calefactor a leña	10,0%	0,0%	1,3%	1,7%	20,7%	34,0%	52,8%	24,7%
	166.925	0	1.723	17.308	36.049	57.374	47.198	7.272
Usa calefactor a pellets de madera	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,8%	2,7%	2,2%
	11.183	0	0	0	0	8.138	2.403	641

Fuente: (In-Data, CChC, 2019)

Respecto de la antigüedad de los calefactores principales, ésta promedia los 5,8 años a nivel nacional y la mediana es de 5 años, mientras que para el secundario la media nacional es 5,5 años y la mediana 4 años. Sin embargo, esta información no se encuentra desagregada por tecnología.

Finalmente, se entrega el consumo de energía a nivel nacional y zona térmica para calefactores que usan leña y pellet:

Tabla 74. Consumo de energía en kWh en calefactores a leña y pellets de madera en Chile, año 2018

	Nacional	ZT1	ZT2	ZT3	ZT4	ZT5	ZT6	ZT7
Calefactor leña	9.831	*	3.459	3.532	7.217	12.456	21.405	17.429
% viviendas que lo usan	31,3%	3,1%	18,0%	11,2%	63,6%	86,5%	90,3%	43,9%
Calefactor pellets de madera	6.430	*	*	*	*	*	*	*
% viviendas que lo usan	1,0%	0,4%	0,7%	0,1%	0,9%	5,9%	2,1%	1,6%

Fuente: (In-Data, CChC, 2019)

6. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE ESCENARIOS DE MEPS

Para la realización del análisis técnico-económico, en primer lugar, es necesario definir las exigencias que se realizarían. ATS Energía propone la consideración de 3 escenarios posibles: 1) confección del MEPS considerando intervalos de confianza por rango de potencia, y 2) definición de un estándar basado en valores de mercado para calefactores a leña, aplicado en ambos tipos de calefactores, y 3) definición de estándares separados para calefactores a pellets de madera y a leña, basado en la realidad del mercado de cada tipo.

6.1. CONFECCIÓN DEL MEPS BASADO EN INTERVALOS DE CONFIANZA

Como se revisó en la sección 2.4.1 para calefactores a leña y 2.4.2 para calefactores a pellets de madera, en base a los modelos certificados en Chile desde 2017 en adelante, se construyeron intervalos de confianza para distintos rangos de potencia, los que pueden aplicarse como límites a la eficiencia. Los límites obtenidos en las secciones mencionadas, se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 75. Eficiencia energética mínima aceptable basada en intervalos de confianza

Rango de potencia	Calefactores a leña	Calefactores a pellets de madera
6 – 8 kW	63,7%	81,8%
8 – 10 kW	65,7%	85,3%
10 – 12 kW	65,7%	83,4%
12 – 14 kW	64,3%	83,4%
14 – 20 kW	S/I	89,8%

Fuente: Elaboración propia

6.1.1. CALEFACTORES A LEÑA

Se evalúa el cumplimiento del estándar propuesto para calefactores a leña, mostrado en la Tabla 75, en el universo de equipos certificados. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 76. Cumplimiento del estándar basado en intervalos de confianza, calefactores a leña

	Sí		No	
	Cantidad de equipos certificados	% sobre total año	Cantidad de equipos certificados	% sobre total año
2017	37.640	67,57%	18.068	32,43%
2018	53.878	76,43%	16.617	23,57%
2019	45.114	71,69%	17.812	28,31%
2020	51.960	92,09%	4.463	7,91%
2021	37.325	90,75%	3.804	9,25%
Total	367.092	81,81%	81.624	18,19%

Fuente: Elaboración propia

Para tener una mejor caracterización del cumplimiento, se evalúa éste en función de los intervalos de potencia, entregando el porcentaje de cumplimiento del estándar por rango

de potencia y año. Cabe destacar que, considerando que existe un sólo modelo con potencia sobre 14 kW, no es posible establecer un límite para evaluar cumplimiento.

Tabla 77. Cumplimiento del estándar basado en intervalos de confianza, calefactores a leña, según rango de potencia (1/2)

Potencia Calefactores	6 a 8 kW		8 a 10 kW		10 a 12 kW	
	Cantidad	Porcentaje (%)	Cantidad	Porcentaje (%)	Cantidad	Porcentaje (%)
2017	11.192	53%	17.602	91%	8.846	73%
2018	13.205	71%	19.059	81%	21.614	83%
2019	12.205	52%	17.637	84%	15.272	99%
2020	15.080	88%	11.926	85%	16.762	98%
2021	5.643	61%	12.703	100%	14.488	98%

Fuente: Elaboración propia

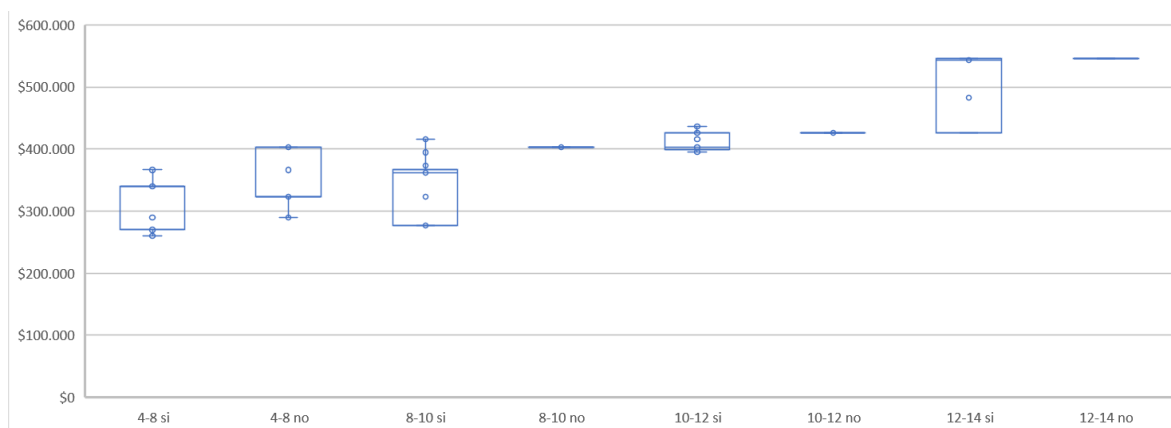
Tabla 78. Cumplimiento del estándar basado en intervalos de confianza, calefactores a leña, según rango de potencia (2/2)

Potencia Calefactores	12 a 14 kW	
	Cantidad	Porcentaje (%)
2017	0	0%
2018	0	0%
2019	0	0%
2020	8.192	100%
2021	4.491	100%

Fuente: Elaboración propia

Los precios de los calefactores a pellets de madera, eliminando valores extremos, considerando el cumplimiento o no del estándar y distintos rangos de potencia, se muestra a continuación:

Figura 68. Precio de calefactores a leña, según cumplimiento de escenario 1



Fuente: Elaboración propia

Luego, se comparan los precios promedio de los calefactores a leña, en función del cumplimiento del estándar, según rango de eficiencia, resultados que se muestran en la tabla a continuación:

Tabla 79. Precios promedio de calefactores a leña, según rango de potencia y cumplimiento de estándar basado en intervalos de confianza

Potencia	6 a 8 kW		8 a 10 kW		10 a 12 kW		12 a 14 kW	
¿Cumple estándar?	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No
2017	312.058	326.577	384.513	403.263	395.142	426.567	-	546.597
2018	303.633	326.577	386.120	403.263	418.877	488.799	-	546.597
2019	304.973	326.577	383.676	403.263	447.293	613.263	-	546.597
2020	299.422	306.582	379.384	403.263	403.399	613.263	485.763	-
2021	346.785	306.582	345.627	-	403.844	613.263	477.728	-

Fuente: Elaboración propia

De la observación de la Tabla 79 es posible apreciar que no hay una relación en precios entre calefactores a leña que cumplen o no el estándar basado en intervalos de confianza, es decir, el cumplimiento del estándar establecido, no es una determinante en el precio, por lo que podría suponerse que de aprobarse un MEPS de estas características, no debiese haber un impacto en los precios de mercado. Esto se puede observar, también, en la tabla siguiente, donde un valor negativo significa que el costo de un calefactor que no cumple el estándar es menor al que sí lo cumple:

Tabla 80. Comparación de precios según cumplimiento de estándar, escenario 1

Potencia	6 a 8 kW	8 a 10 kW	10 a 12 kW	12 a 14 kW
2017	-2%	5%	8%	-
2018	-4%	4%	17%	-
2019	1%	5%	37%	-
2020	2%	6%	52%	16%
2021	-12%	-	52%	-22%

Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar que los precios son estimados como el promedio simple de todos aquellos que cumplen con el estándar, versus los que no. Esto puede significar que modelos de poca presencia en el mercado estén sobrerrepresentados⁸⁶, por lo que se procedió a calcular los precios ponderados, considerando las unidades certificadas cada año desde 2017 a julio de 2021, con el fin de eliminar datos anómalos obtenidos antes de 2017:

⁸⁶ Por ejemplo, un modelo de calefactor que certifica 100 unidades al año tiene el mismo peso que uno que certifica 2.000.

Tabla 81. Comparación de precios promedio ponderados para calefactores a leña, escenario 1

Potencia	Hasta 8 kW		Sobre 8 a 10 kW		Sobre 10 a 12 kW		Sobre 12 a 14 kW	
¿Cumple estándar?	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Precio promedio	344.427	345.410	372.199	403.263	488.540	452.591	476.012	546.597
Cantidad de modelos	6	4	13	1	6	2	6	1

Fuente: Elaboración propia

De la observación de la Tabla 85 es posible apreciar que, salvo para el intervalo entre 10 y 12 kW, aquellos calefactores que cumplirían con la exigencia son menos costosos que los que no alcanzan el estándar, sin embargo, es necesario tener en cuenta la diferencia en la cantidad de modelos certificados en el periodo que cumplen o no el estándar.

6.1.2. CALEFACTORES A PELLETS DE MADERA

Se evalúa el cumplimiento del estándar propuesto para calefactores a pellets de madera, mostrado en la Tabla 75, en el universo de equipos certificados. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 82. Cumplimiento del estándar basado en intervalos de confianza, calefactores a pellets de madera

	Sí		No	
	Cantidad de equipos certificados	% sobre total año	Cantidad de equipos certificados	% sobre total año
2017	14.151	73,12%	5.203	26,88%
2018	23.181	86,64%	3.573	13,36%
2019	33.285	89,36%	3.965	10,64%
2020	28.098	89,76%	3.206	10,24%
2021	11.307	97,69%	267	2,31%
Total	110.022	87,16%	16.214	12,84%

Fuente: Elaboración propia

Para tener una mejor caracterización del cumplimiento, se evalúa éste en función de los intervalos de potencia, entregando el porcentaje de cumplimiento del estándar por rango de potencia y año.

Tabla 83. Cumplimiento del estándar basado en intervalos de confianza, calefactores a pellets de madera, según rango de potencia (1/2)

Potencia	4 a 8 kW		8 a 10 kW		10 a 12 kW	
	Cantidad	Porcentaje (%)	Cantidad	Porcentaje (%)	Cantidad	Porcentaje (%)
2017	4.847	50%	5.367	95%	3.900	100%
2018	9.650	75%	13.067	98%	72	100%
2019	11.197	84%	21.367	92%	504	100%

Potencia	4 a 8 kW		8 a 10 kW		10 a 12 kW	
Calefactores	Cantidad	Porcentaje (%)	Cantidad	Porcentaje (%)	Cantidad	Porcentaje (%)
2020	12.004	88%	15.592	91%	475	100%
2021	1.965	88%	9.233	100%	92	100%

Fuente: Elaboración propia

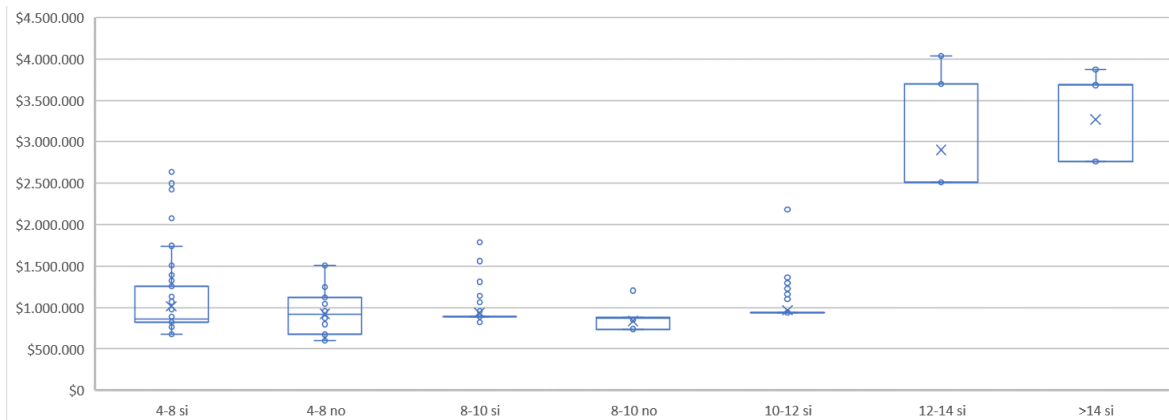
Tabla 84. Cumplimiento del estándar basado en intervalos de confianza, calefactores a pellets de madera, según rango de potencia (2/2)

Potencia	12 a 14 kW		14 a 24 kW	
Calefactores	Cantidad	Porcentaje (%)	Cantidad	Porcentaje (%)
2017	13	100%	24	100%
2018	251	100%	141	100%
2019	128	100%	89	100%
2020	10	100%	17	100%
2021	-	-	17	100%

Fuente: Elaboración propia

Los precios de los calefactores a pellets de madera, basados en el cumplimiento o no del estándar, según rangos de potencia, se muestran a continuación:

Figura 69. Precios de calefactores a pellets de madera, en función del cumplimiento del estándar, escenario 1



Fuente: Elaboración propia

Luego, se comparan los precios promedio de los calefactores a pellets de madera, en función del cumplimiento del estándar, según rango de eficiencia, resultados que se muestran en la tabla a continuación. Es importante destacar que como desde los 10 kW hay un 100% de cumplimiento del estándar, no se estiman los precios promedio para aquellas que no cumplen el estándar:

Tabla 85. Precios promedio de calefactores a pellets de madera, según rango de potencia y cumplimiento de estándar basado en intervalos de confianza

Potencia	6 a 8 kW		8 a 10 kW		10 a 12 kW	12 a 14 kW	14 a 24 kW
¿Cumple estándar?	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí
2017	1.179.441	1.094.025	1.675.000	879.900	934.990	2.510.014	3.685.905
2018	1.161.496	1.016.967	1.269.772	971.293	1.199.000	1.936.487	3.069.761
2019	1.307.057	952.652	1.059.064	937.529	1.542.333	3.033.576	3.439.198
2020	945.846	993.224	1.106.782	739.990	1.526.833	4.036.667	3.439.198
2021	989.028	946.515	1.099.985	-	1.199.000	-	-

Fuente: Elaboración propia

De la observación de la Tabla 85 es posible apreciar que sí existe una diferencia entre los calefactores que cumplirían el estándar basado en intervalos de confianza. En la tabla siguiente se muestra la diferencia porcentual entre el precio promedio, por rango de potencia, de los calefactores que cumplen y aquellos que no el estándar evaluado.⁸⁷ Cabe mencionar que se evalúan solo los 2 primeros intervalos de potencia, dado que en los siguientes no se detecta incumplimiento del estándar. Con esto, de la observación de la Tabla 86

Tabla 86. Diferencias de precios entre calefactores a pellets de madera que cumplen y los que no es estándar basado en intervalos de confianza

Potencia	6 a 8 kW	8 a 10 kW
2017	-7%	-47%
2018	-12%	-24%
2019	-27%	-11%
2020	5%	-33%
2021	-4%	-

Fuente: Elaboración propia

Como en el caso de los calefactores a leña, se procede a realizar el cálculo de los precios promedios ponderados, para evitar la sobrerrepresentación de los modelos con un menor número relativo de certificaciones. En este sentido, es importante recordar que no hay calefactores a pellets de madera con sobre 10 kW que presenten incumplimiento del estándar:

⁸⁷ La fórmula utilizada para calcular la diferencia en el costo promedio es la siguiente, donde $P_{Sí}$ es el precio promedio de los calefactores que cumplen con el estándar evaluado y P_{No} el precio de los que no cumplen el estándar.

$$Diferencia = \frac{P_{No}}{P_{Sí}} - 1$$

Tabla 87. Comparación de precios promedios ponderados para calefactores a pellets, escenario 1

Potencia	4 a 8 kW		8 a 10 kW	
¿Cumple estándar?	Sí	No	Sí	No
Precios promedio	978.567	921.376	935.348	837.550
Modelos	35	12	16	4

Fuente: Elaboración propia

De la observación de la Tabla 87 es posible apreciar que los calefactores a pellets de madera que no cumplen con el estándar establecido en el escenario 1 tienen un costo menor que aquellos que sí lo cumplen, sin embargo, es necesario observar que la cantidad de modelos que cumplen es hasta 4 veces la de calefactores que no lo cumplen, lo que puede generar sesgo.

6.2. ESTÁNDAR BASADOS EN ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CALEFACTORES A LEÑA

Con el objetivo de establecer un estándar mínimo de eficiencia energética para los calefactores a leña y pellets de madera que actualmente se comercializan a nivel nacional, inicialmente se realiza un análisis estadístico del actual desempeño de los equipos certificados entre enero de 2017 y julio de 2021, ambos meses incluidos, a partir de los registros oficiales de la SEC. El análisis considera la estadística descriptiva de datos medidos e informados en los respectivos laboratorios tanto para calefactores a leña como a pellets de madera. Una vez calculados tales indicadores, se verifica el tipo de distribución y se procede a establecer intervalos de confianza para las diferentes clases establecidas en la normativa vigente.

Sobre la base que el estándar mínimo de eficiencia energética será aplicado en la variable energética, todos los respectivos análisis se realizarán sobre aquella variable medida y reportada.

6.2.1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE DATOS PARA CALEFACTORES A LEÑA

La base de datos original para calefactores a leña consigna 38 modelos diferentes de calefactores a leña de todas las clases de EE⁸⁸, los valores de eficiencia oscilan entre un mínimo de 61% y un máximo de 84%.

A continuación, se presenta la frecuencia porcentual, según rango de eficiencia energética de los calefactores a leña.

Tabla 88. Frecuencia porcentual por rango de EE, calefactores a leña

Rango de EE	Frecuencia Porcentual
Superior a 85%	0%
]75%, 85%]	2,6%
]70%, 75%]	29%
]65%, 70%]	47,4%

⁸⁸ El rango de eficiencia en el que se debe encontrar un calefactor para pertenecer a una clase determinada, se muestra en la Tabla 22.

Rango de EE	Frecuencia Porcentual
Menor o igual a 65%	21%

Fuente: Elaboración propia

A partir de esta información se obtienen la siguiente información propia de la Estadística Descriptiva de Datos.

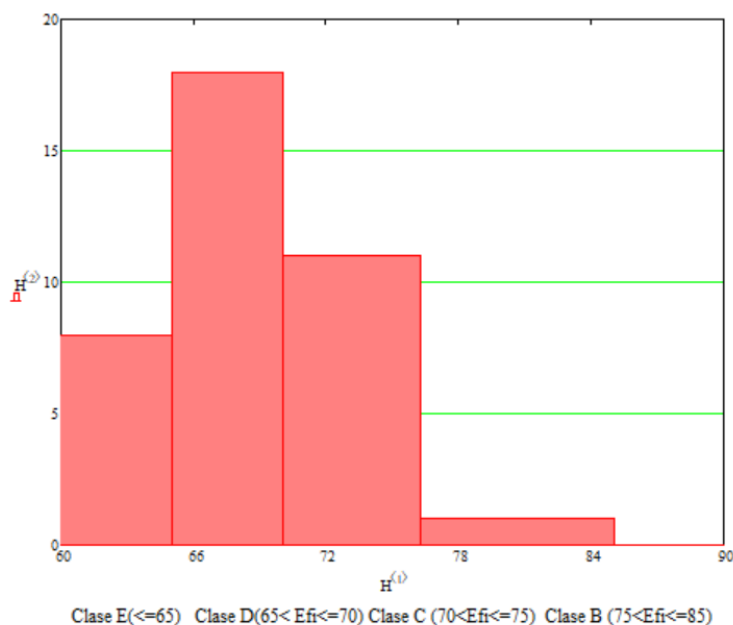
Tabla 89. Estadística descriptiva relativa a eficiencia de calefactores a leña

Media	68,6 %
Mediana	69,5 %
Moda	70 %
Desviación Estándar	4,365%
Varianza de la Muestra	19,565%
Curtosis	2,797
Coefficiente de Asimetría	0,658
Rango	23%
Mínimo	61%
Máximo	84%
Suma	2605,7%
Total Muestra	38
Número de Intervalos	5

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos definidos por rango de eficiencia, se puede graficar la distribución de frecuencia mediante un histograma que a continuación se presenta.

Figura 70. Histograma de calefactores a leña según clase de eficiencia



Fuente: Elaboración propia

Conforme se observa en el histograma, es razonable verificar que la tecnología actual disponible en el mercado nacional, de acuerdo a lo reportado por los laboratorios en lo que respecta a eficiencia energética siga una distribución normal. Para esto, además de la información gráfica del histograma, se evaluarán tres pruebas: 1) Las medidas de tendencia central, 2) Las medidas de distribución y 3) La concentración de datos según la media y la desviación estándar.

1) Medidas de Tendencia Central

Cuando se comparan la media, mediana y moda se observan los siguientes valores:

Tabla 90. Estadísticos de eficiencia energética para calefactores a leña. Medidas de tendencia central

Media	68,6 %
Mediana	69,5 %
Moda	70 %

Fuente: Elaboración propia

Como todas ellas se encuentran en el rango de la Clase D ($65 < \eta \leq 70\%$), de acuerdo al histograma, se puede aseverar que las medidas de tendencia central son consistentes con una distribución normal.

2) Medidas de distribución

Las variables a considerar para este caso corresponden al coeficiente de asimetría y la curtosis que corresponden a:

Tabla 91. Estadísticos de eficiencia energética para calefactores a pellets de madera, medidas de distribución

Coefficiente de Asimetría (Skewness)	0,65
Curtosis	2,797

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al valor del coeficiente de asimetría, se observa que los datos tienen una tendencia moderada a la derecha, sin embargo, como valores con asimetría =0 son considerados plenamente simétricos, es perfectamente identificable que la distribución presenta un buen nivel de simetría que puede considerarse como distribución normal. Por otra parte, el valor de la curtosis muestra valores en torno de 3 por lo que, de acuerdo al coeficiente de Fischer, los datos se encuentran en el rango mesocurtico con una fuerte tendencia a un agrupamiento en torno de la clase D.

3) Concentración de datos según la media y la desviación estándar

Entre los factores relevantes para una distribución normal y como una regla empírica, se considera como tal aquella donde aproximadamente el 68% de los datos se encuentren dentro del rango de una desviación estándar de la media. Asimismo, a veces se considera que el 95% de los datos estén dentro de 2 desviaciones estándar o 3 desviaciones estándar de la media. Para este caso los cálculos reportan:

Tabla 92. Estadísticos de eficiencia energética para calefactores a leña, concentración de datos según media y desviación estándar

Media	68,6%
Desviación Estándar	4,365
$\mu-\sigma$	64,235%
$\mu+\sigma$	72,965%
Porcentaje de Valores menores a $\mu-\sigma$	21%
Porcentaje de Valores menores a $\mu+\sigma$	92%
Porcentaje de Valores entre ($\mu-\sigma$; $\mu+\sigma$)	71%

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que el porcentaje de valores entre una desviación estándar corresponde a un 71%, lo que comparativamente con el 68% es cercano más no exacto. Esto, levanta la hipótesis de que el máximo valor es inusualmente grande y además es único. Estadísticamente a estos valores extremos se consideran "outliers" y si se remueve el valor de 84% se obtienen los siguientes valores.

Tabla 93. Estadísticos de eficiencia energética para calefactores a leña, concentración de datos según media y desviación estándar, sin outliers

Media	68,2%
Desviación Estándar	3,6
$\mu-\sigma$	64,6%
$\mu+\sigma$	71,8%
Porcentaje de Valores menores a $\mu-\sigma$	21,6%
Porcentaje de Valores menores a $\mu+\sigma$	83,8%
Porcentaje de Valores entre ($\mu-\sigma$; $\mu+\sigma$)	62 %

Fuente: Elaboración propia

Esta última tabla muestra que el valor de eficiencia energética de 84% corresponde a un valor estadísticamente atípico, ya que, extrayendo ese único valor de la base de datos, los porcentajes de valores en torno de la media con el valor unitario de desviación estándar se encuentran en 62% considerando que el máximo valor aceptable porcentual de datos agrupados corresponde al 68%.

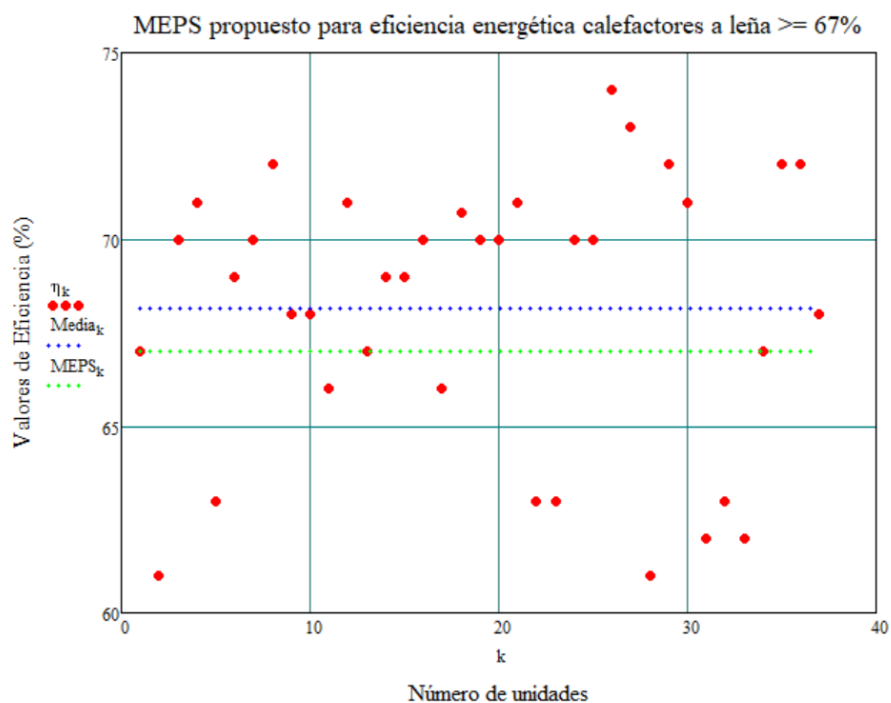
Una vez establecido que la distribución de datos reportados se comporta de manera normal, es posible obtener la incertidumbre o estimación del intervalo de error de la base de datos respecto de la media. El valor es obtenido sobre la base de la ecuación utilizada para la estimación de intervalos de confianza en la sección 2.4 de este documento. De esta manera, para la respectiva base de datos de calefactores a leña se obtiene los intervalos de incertidumbre de:

$$68,15 \pm 1,2\%$$

A partir de esta información es posible **proponer un MEPS** con base en aspectos tecnológicos del mercado incluyendo la incertidumbre de las mediciones.

Cuando se observa la clase D, se observa que la media de tal clase es 68,56 % en consecuencia substrayendo la incertidumbre, el **mínimo estándar de eficiencia energética para los calefactores a leña sugerido correspondería a 67%**. Los modelos que cumplen y no con el MEPS según su eficiencia se muestran en la figura siguiente:

Figura 71. Cumplimiento del MEPS, calefactores a leña



Luego, la cantidad de modelos y equipos certificados que no cumplen con el MEPS por año, se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 94. Cantidad de modelos y de equipos que no cumplen con el estándar

	Eficiencia menor a 67%			Eficiencia mayor o igual a 67%		
	Cantidad de modelos	Cantidad de equipos certificados	% del total de equipos certificados	Cantidad de modelos	Cantidad de equipos certificados	% del total de equipos certificados
2017	8	18.765	33,57%	15	37.117	66,42%
2018	9	19.393	27,19%	12	51.922	72,81%
2019	8	19.960	31,12%	17	44.185	68,88
2020	6	6.450	11,35%	18	50.397	88,65%
2021	4	5.383	13,09%	13	35.746	86,91%

Fuente: Elaboración propia

Para complementar el análisis, se evalúa el cumplimiento en los mismos rangos de potencia establecidos en el primer escenario evaluado.

Tabla 95. Cumplimiento de estándar basado en análisis estadístico de eficiencia, según rango de potencia y año (1/2)

Potencia Calefactores	6 a 8 kW		8 a 10 kW		10 a 12 kW	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
2017	10.669	51%	17.602	91%	8.846	73%
2018	11.249	60%	19.059	81%	21.614	83%

Potencia Calefactores	6 a 8 kW		8 a 10 kW		10 a 12 kW	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
2019	11.276	48%	17.637	84%	15.272	99%
2020	15.080	88%	11.926	85%	16.762	98%
2021	5.643	61%	12.703	100%	14.488	98%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 96. Cumplimiento de estándar basado en análisis estadístico de eficiencia, según rango de potencia y año (2/2)

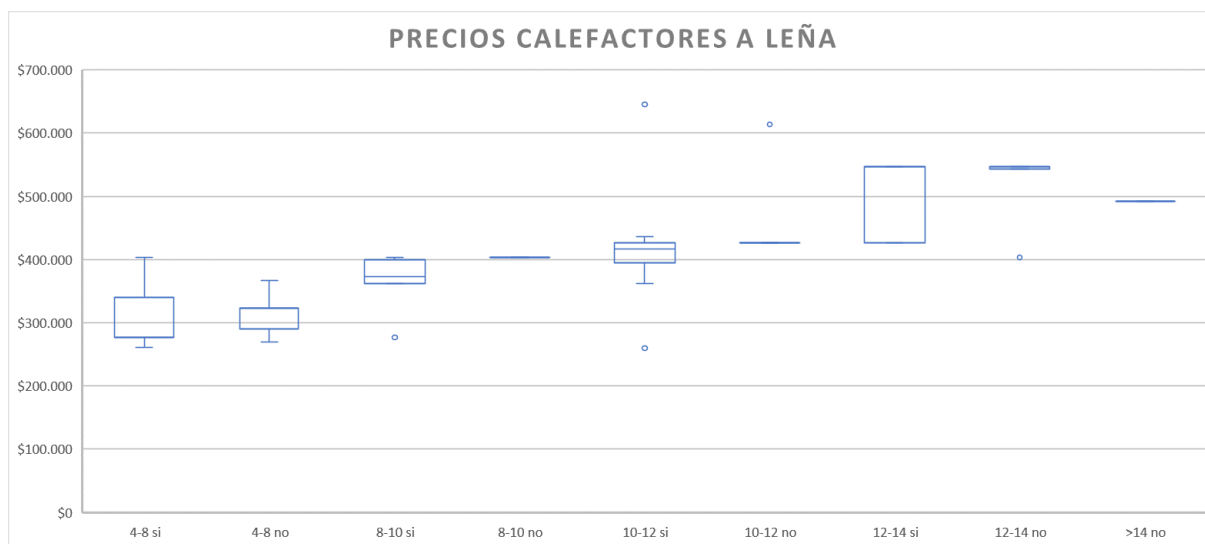
Potencia Calefactores	12 a 14 kW	
	Cantidad	Porcentaje (%)
2017	-	0%
2018	-	0%
2019	-	0%
2020	6.629	81%
2021	2.912	65%

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que en el rango de potencia sobre 14 kW se detecta un único modelo, que no cumple con el estándar. De ese calefactor a leña se certificaron 8.814 artefactos entre 2017 y 2021.

Los precios de los calefactores a leña, eliminando los valores extremos, considerando el cumplimiento o no del estándar y distintos rangos de potencia, se muestra a continuación:

Figura 72. Precio de calefactores a leña, según cumplimiento de estándar basado en análisis estadístico



Fuente: Elaboración propia

Como complemento, se establecen los precios promedios de aquellos modelos de calefactores que cumplen y los que no cumplen el estándar. Los resultados se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 97. Precios de calefactores a leña, según cumplimiento de estándar basado en análisis estadístico de eficiencia, según año y rango de potencia

Potencia	6 a 8 kW		8 a 10 kW		10 a 12 kW		12 a 14 kW		
	¿Cumple estándar?	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No
2017		326.101	318.484	384.513	403.263	395.142	426.567	-	546.597
2018		326.101	312.415	386.120	403.263	418.877	488.799	-	546.597
2019		310.813	312.415	383.676	403.263	447.293	613.263	-	546.597
2020		299.422	306.582	379.384	403.263	403.399	613.263	466.577	543.323
2021		346.785	306.582	345.627	-	403.844	613.263	514.960	403.263

Fuente: Elaboración propia

De la observación de la Tabla 97, es posible apreciar que no hay una tendencia clara en los precios promedio asociadas al cumplimiento o no del estándar. Es por esto que se entrega la tabla siguiente, donde se aprecia la diferencia porcentual entre ambos precios, calculados de la misma manera que el estándar basado en intervalos de confianza en calefactores a pellets de madera. Cabe destacar que las diferencias porcentuales negativas muestran que el precio de aquellos calefactores que no cumplen es menor que aquellos que estarían en observancia del estándar.

Tabla 98. Diferencia de precios de calefactores a leña, según cumplimiento de estándar basado en análisis estadístico de eficiencia, según año y rango de potencia

Potencia	6 a 8 kW	8 a 10 kW	10 a 12 kW	12 a 14 kW
2017	-2%	5%	8%	-
2018	-4%	4%	17%	-
2019	1%	5%	37%	-
2020	2%	6%	52%	16%
2021	-12%	-	52%	-22%

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de complementar los análisis, y evitar potenciales sesgos dada la distinta cantidad de artefactos certificados según modelo, es que se estima el promedio ponderado de los precios según cumplimiento del estándar (eficiencia superior o igual a 68%) para evitar sobrerrepresentación de modelos con poca participación de mercado. Los resultados se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 99. Comparación de precios promedio ponderados para calefactores a leña, estándar basado en análisis estadístico de eficiencia

Potencia	¿Cumple estándar?	Precio promedio	Cantidad de modelos
Hasta 8 kW	Sí	323.719	3
	No	286.106	4
Sobre 8 a 10 kW	Sí	357.147	13
	No	403.263	2
Sobre 10 a 12 kW	Sí	414.148	9
	No	452.591	2

Potencia	¿Cumple estándar?	Precio promedio	Cantidad de modelos
Sobre 12 a 14 kW	Sí	500.325	5
	No	546.104	2
Sobre 14 kW	Sí	-	0
	No	491.597	1

Fuente: Elaboración propia

De la observación de la Tabla 99 es posible apreciar que, salvo en el rango de hasta 8 kW, el precio de los calefactores que cumplen el estándar es menor que aquellos que no lo cumplen.

6.3. ESTÁNDAR BASADOS EN ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CALEFACTORES A LEÑA Y A PELLETS DE MADERA

Para el establecimiento de este escenario, se realizan los mismos cálculos efectuados para calefactores a leña, aplicados a calefactores a pellets de madera. Así, se establece un límite para calefactores a leña basado en el análisis estadístico de la eficiencia, y lo mismos para calefactores a pellets de madera, donde se establece otro estándar basado en su propio análisis estadístico.

6.3.1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE DATOS PARA CALEFACTORES A PELLETS

La base de datos original para calefactores a pellets de madera consigna 77 modelos de equipos para todas las clases, los valores de eficiencia oscilan entre un mínimo de 70% y un máximo de 94%.

A continuación, se presenta la frecuencia porcentual, según rango de eficiencia energética de los calefactores a pellets de madera.

Tabla 100. Frecuencia porcentual por rango de EE, calefactores a pellets de madera

Rango de EE	Frecuencia Porcentual
Superior a 85%	71,4%
]75%, 85%]	27,3%
]70%, 75%]	0%
]65%, 70%]	1,3%
Menor o igual a 65%	0%

Fuente: Elaboración propia

A partir de esta información se obtienen la siguiente información propia de la estadística descriptiva de datos.

Tabla 101. Estadística descriptiva relativa a eficiencia de calefactores a pellets de madera

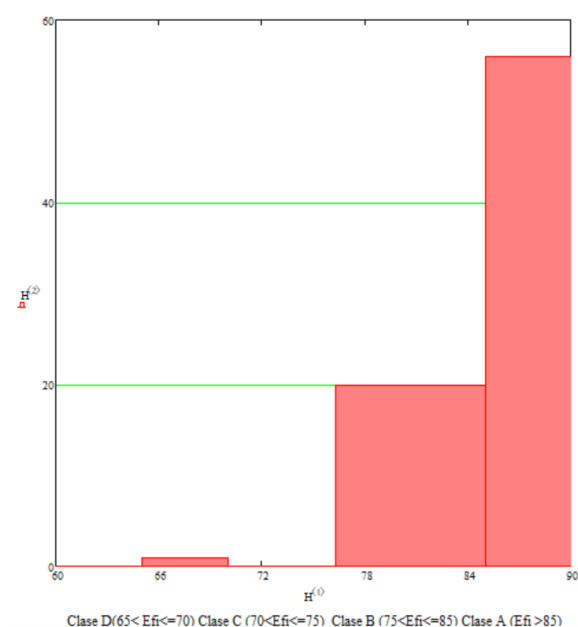
Media	85,5 %
Mediana	86 %
Moda	86 %
Desviación Estándar	3,87
Varianza de la Muestra	15,2

Curtosis	2,503
Coefficiente de Asimetría	-1,076
Rango	24
Mínimo	70%
Máximo	94%
Suma	6580
Total Muestra	77
Número de Intervalos	5

Fuente: Elaboración propia

Al igual que en el caso de los calefactores a leña, a partir de los datos definidos por clase, se puede graficar la distribución de frecuencia para calefactores a pellets de madera mediante un histograma que a continuación se presenta.

Figura 73. Histograma de clases de EE para calefactores a pellets de madera



Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos anteriores y la distribución mostrada en el histograma se realizan las mismas pruebas de medidas de tendencia central, de distribución y la concentración de datos según la media y la desviación estándar.

1) Medidas de tendencia central

Cuando se comparan la media, mediana y moda se observan los siguientes valores:

Tabla 102. Estadísticos de eficiencia energética para calefactores a pellets de madera. Medidas de tendencia central

Media	85,5 %
Mediana	86 %
Moda	86 %

Fuente: Elaboración propia

Como todas ellas se encuentran en el rango de la clase A ($\eta > 85\%$), de acuerdo al histograma, se puede aseverar que las medidas de tendencia central se agrupan consistentemente en torno de la media.

2) Medidas de distribución

Las variables a considerar para este caso corresponden al coeficiente de asimetría y la curtosis que corresponden a:

Tabla 103. Estadísticos de EE para calefactores a leña, medidas de distribución

Coeficiente de asimetría (Skewness)	-1,076
Curtosis	2,503

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al valor del coeficiente de asimetría, se observa que los datos tienen una tendencia moderada a la izquierda, con valores de curtosis positiva mostrando una distribución del tipo leptocúrtica mostrando una mayor concentración de los datos en torno a la media, en particular en la clase A.

3) Concentración de datos según la media y la desviación estándar

Como fue dicho con anterioridad, una regla empírica de una distribución normal, permite observar que aproximadamente, como máximo, el 68% de los datos se encuentran dentro del rango de 1 desviación estándar de la media. Asimismo, a veces se considera que el 95% de los datos estén dentro de 2 desviaciones estándar o 3 desviaciones estándar de la media. Para este caso los cálculos reportan:

Tabla 104. Estadísticos de eficiencia energética para calefactores a pellets de madera, concentración de datos según media y desviación estándar

Media	85,5%
Desviación Estándar	3,87
$\mu - \sigma$	81,63%
$\mu + \sigma$	89,37%
Porcentaje de Valores menores a $\mu - \sigma$	18,2%
Porcentaje de Valores menores a $\mu + \sigma$	92,2%
Porcentaje de Valores entre ($\mu - \sigma$; $\mu + \sigma$)	74%

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que el porcentaje de valores entre una desviación estándar corresponde a un 74%, lo que comparativamente con el 68% no califica. Esto, al igual que en el caso de calefactores a leña, levanta la hipótesis de un valor de los 77, estadísticamente corresponde a un "outliers". Revisando la base de datos, se encuentra que una estufa a pellets tiene el valor de eficiencia de 70% que corresponde a la clase D. Removiendo tal equipo de la base de dato y rehaciendo el análisis, los resultados se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 105. Estadísticos de eficiencia energética para calefactores a pellets de madera, concentración de datos según media y desviación estándar, sin outliers

Media	85,7%
Desviación Estándar	3,47
$\mu - \sigma$	82,23%

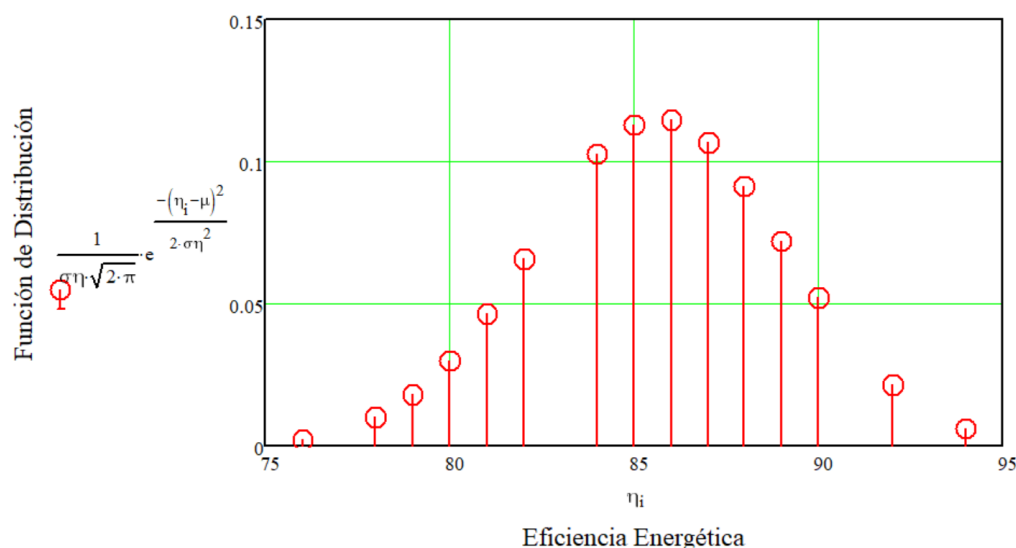
$\mu+\sigma$	89,1
Porcentaje de Valores menores a $\mu-\sigma$	22,4%
Porcentaje de Valores menores a $\mu+\sigma$	92,0%
Porcentaje de Valores entre $(\mu-\sigma ; \mu+\sigma)$	69,6%

Fuente: Elaboración propia

Esta última tabla muestra que el valor de eficiencia energética de 70% corresponde a un valor estadísticamente atípico, ya que, extrayendo ese único valor de la base de datos, los porcentajes de valores en torno de la media con el valor unitario de desviación estándar se encuentran en 69,6% que para efectos de este estudio se infiere que la distribución es normal.

La Figura 74 muestra la función de distribución para la eficiencia energética para la base de datos de calefactores a pellets cuando se extrae el único equipo de la clase D con 70% de eficiencia.

Figura 74. Función de distribución de eficiencia energética para calefactores a pellets de madera, sin outliers



Fuente: Elaboración propia

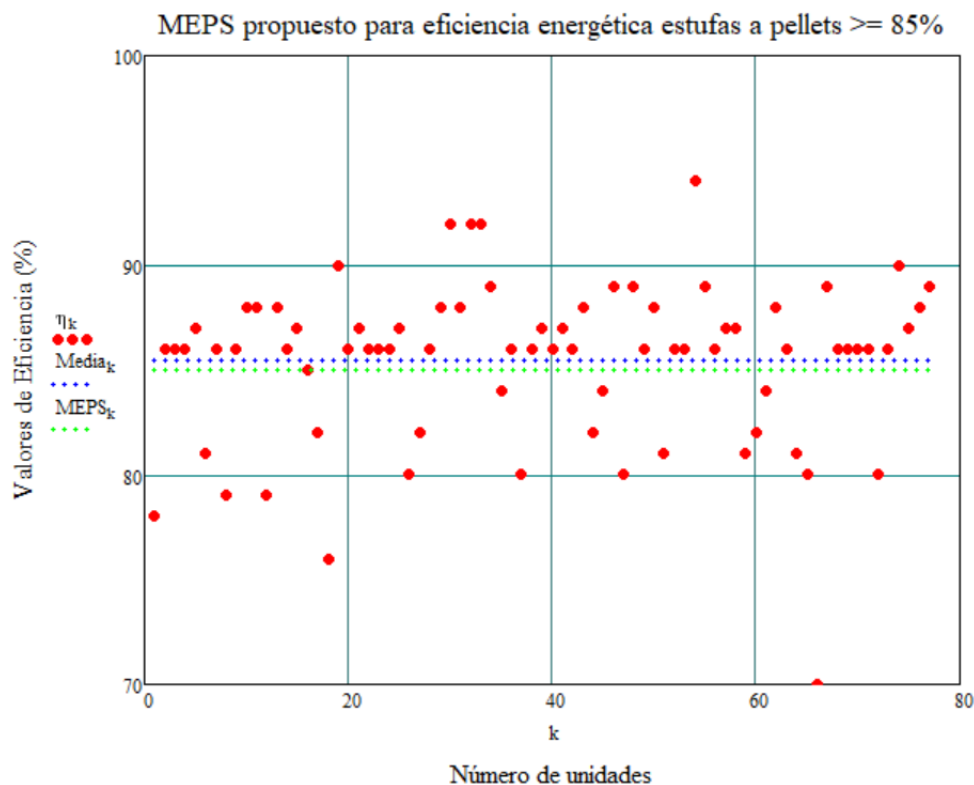
Una vez establecido que la distribución de datos reportados se comporta de manera normal, es posible obtener la incertidumbre o estimación del intervalo de error de la base de datos respecto de la media. El valor es obtenido sobre la base de la ecuación utilizada para la estimación de intervalos de confianza en la sección 2.4 de este documento. De esta manera, para la respectiva base de datos de calefactores a pellets se obtiene los intervalos de incertidumbre de:

$$85,7 \pm 0,8\%$$

A partir de esta información es posible proponer un MEPS con base en aspectos tecnológicos del mercado incluyendo la incertidumbre de las mediciones. El **mínimo estándar de eficiencia energética para los calefactores a pellets de madera sugerido corresponde a 85%**. Cuando se grafican tales equipos de acuerdo a la base de datos, se obtiene la siguiente figura. Conforme se observa, la línea punteada azul corresponde a la

media de la clase B y la línea cortada café corresponde al MEPS sugerido, de esta manera, se observa aquellos equipos que quedan fuera de la respectiva clase.

Figura 75. MEPS propuesto en base a análisis estadístico de calefactores a pellets de madera



Fuente: Elaboración propia

Luego, si se aplica un MEPS que imponga que la eficiencia de los calefactores a leña tenga que ser superior a o igual 67%, mientras la de los calefactores a pellets debe ser superior a 85%, el nivel de cumplimiento se aprecia en la tabla siguiente:

Tabla 106. Cumplimiento de estándar basado en análisis estadístico de eficiencia en calefactores a pellets de madera, según año

	Sí		No	
	Cantidad de productos certificados	% sobre total año	Cantidad de productos certificados	% sobre total año
2017	13.749	71,04%	5.605	28,96%
2018	22.389	83,68%	4.365	16,32%
2019	29.695	79,72%	7.555	20,28%
2020	26.905	85,95%	4.399	14,05%
2021	11.149	96,33%	425	3,67%
Total	103.887	82,30%	22.349	17,70%

Fuente: Elaboración propia

Para complementar el análisis, se evalúa el cumplimiento en los mismos rangos de potencia establecidos en el primer escenario evaluado.

Tabla 107. Cumplimiento de estándar basado en análisis estadístico de eficiencia en calefactores a pellets de madera, según rango de potencia y año (1/2)

Potencia Calefactores	4 a 8 kW		8 a 10 kW		10 a 12 kW	
	Cantidad	Porcentaje (%)	Cantidad	Porcentaje (%)	Cantidad	Porcentaje (%)
2017	4.445	46%	5.367	95%	3.900	100%
2018	9.042	70%	13.067	98%	72	100%
2019	7.722	58%	21.367	92%	504	100%
2020	10.811	79%	15.592	91%	475	100%
2021	1.807	81%	9.233	100%	92	100%

Fuente: Elaboración propia

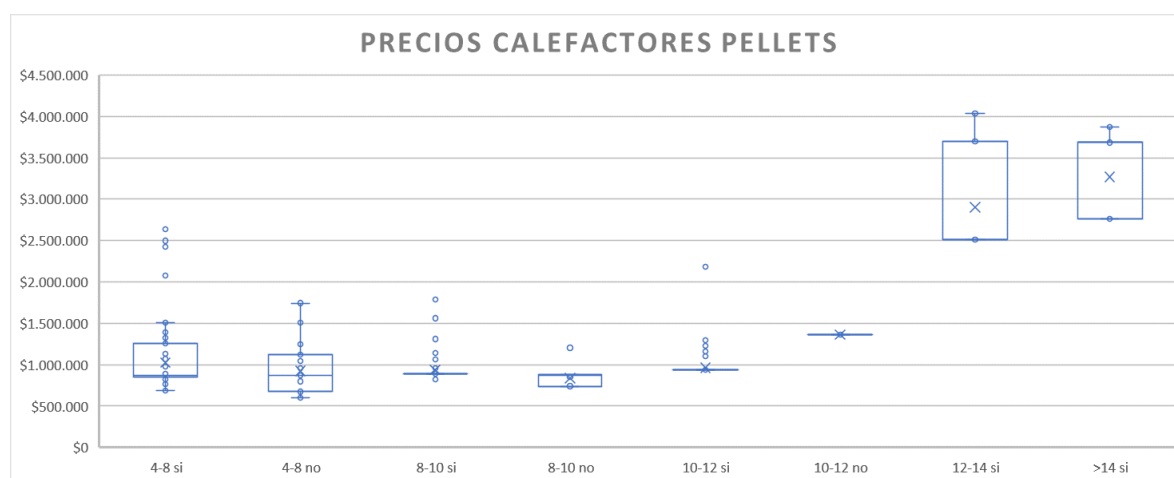
Tabla 108. Cumplimiento de estándar basado en análisis estadístico de eficiencia en calefactores a pellets de madera, según rango de potencia y año (2/2)

Potencia Calefactores	12 a 14 kW		14 a 24 kW	
	Cantidad	Porcentaje (%)	Cantidad	Porcentaje (%)
2017	13	100%	24	100%
2018	67	27%	141	100%
2019	13	10%	89	100%
2020	10	100%	17	100%
2021	0	-	17	100%

Fuente: Elaboración propia

Los precios de los calefactores a pellets de madera, considerando el cumplimiento o no del estándar y distintos rangos de potencia, se muestra a continuación:

Figura 76. Precio de calefactores a leña, según cumplimiento de escenario 2



Fuente: Elaboración propia

Como complemento, se establecen los precios promedios de aquellos modelos de calefactores que cumplen y los que no cumplen el estándar. Los resultados se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 109. Precios de calefactores a pellets de madera, según cumplimiento de estándar basado en análisis estadístico de eficiencia, según año y rango de potencia

Potencia	6 a 8 kW		8 a 10 kW		10 a 12 kW	12 a 14 kW		14 a 24 kW	
	¿Cumple estándar?	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	
2017		1.152.391	1.145.811	1.675.000	879.900	934.990	2.510.014	-	3.685.905
2018		1.214.884	985.003	1.269.772	971.293	1.199.000	2.510.014	1.362.960	3.069.761
2019		1.342.624	991.395	1.059.064	937.529	1.542.333	3.868.883	1.362.960	3.439.198
2020		945.846	993.224	1.106.782	739.990	1.526.833	4.036.667	-	3.439.198
2021		989.028	946.515	1.099.985	-	1.199.000	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar que, para los rangos de potencia entre 10 y 12 kW y entre 14 y 24 kW, no se reportan calefactores a pellets de madera que no cumplan con el estándar evaluado.

De la observación de la Tabla 109, es posible apreciar que no hay una tendencia clara en los precios promedios asociadas al cumplimiento o no del estándar. Es por esto que se entrega la tabla siguiente, donde se aprecia la diferencia porcentual entre ambos precios, calculados de la misma manera que el estándar basado en intervalos de confianza en calefactores a pellets de madera. Cabe destacar que las diferencias porcentuales negativas muestran que el precio de aquellos calefactores que no cumplen es menor que aquellos que estarían en observancia del estándar.

Tabla 110. Diferencia de precios de calefactores a pellets de madera, según cumplimiento de estándar basado en análisis estadístico de eficiencia, según año y rango de potencia

Potencia	6 a 8 kW	8 a 10 kW	12 a 14 kW
2017	-1%	-47%	-
2018	-19%	-24%	-46%
2019	-26%	-11%	-65%
2020	5%	-33%	-
2021	-4%	-	-

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo que en el resto de los escenarios, se calculan los precios promedio ponderados del cumplimiento y no cumplimiento, eliminando aquellos registros para los cuales no se cuenta con información completa de precios y eficiencia. Los resultados se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 111. Comparación de precios promedios ponderados para calefactores a pellets de madera, escenario 3

Potencia	4 a 8 kW		8 a 10 kW		10 a 12 kW	
¿Cumple estándar?	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Precios promedio	1.077.761	873.053	1.089.417	837.550	1.663.941	1.362.960
Modelos	41	27	25	6	6	1

Fuente: Elaboración propia

De la observación de la Tabla 111 es posible apreciar que los precios promedio ponderados de los calefactores que cumplen con el estándar son mayores que aquellos que no. Es importante mencionar la diferencia de la cantidad de los modelos que cumplen y no el estándar.

6.4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES SOBRE ESCENARIOS

Luego de haber desarrollado 3 escenarios de evaluación de MEPS, basados en:

- i. Análisis de intervalos de confianza,
- ii. Análisis estadístico basado en eficiencia de calefactores a leña, aplicado en ambos tipos de calefactores.
 - a. Análisis estadístico basado en eficiencia de calefactores a pellets de madera y a leña, aplicado en cada tipo.

Es posible entregar las siguientes conclusiones parciales:

1. **El nivel de cumplimiento de cada estándar** se muestra en la tabla siguiente, tanto para calefactores a leña, como a pellets de madera, considerando los calefactores certificados entre enero de 2017 y julio de 2021, ambos meses inclusive:

Tabla 112. Comparación de cumplimiento de escenarios MEPS

Cumplimiento		Estándar 1: basado en intervalos de confianza	Estándar 2: basado en análisis estadístico de calefactores a leña	Estándar 3: basado en análisis estadístico de calefactores a leña y pellets de madera
Leña	Cantidad unidades certificadas	367.092	316.334	316.334
	Porcentaje que cumple estándar (%)	81,81%	72,56%	72,56%
Pellets de madera	Cantidad unidades certificadas	110.022	126.236	103.887
	Porcentaje (%)	87,16%	100%	82,30%

Fuente: Elaboración propia

2. El estándar 1 impone más exigencias en lo que se refiere a la eficiencia, para los calefactores a leña, mientras que el estándar 3 es el más exigente para calefactores a pellets de madera.
3. Es importante mencionar que las eficiencias se evalúan en base a lo reportado para los análisis de laboratorio.
4. En la práctica el consumo de leña y las emisiones de MP asociadas dependerán de los patrones de uso, sobre todo la operación de los calefactores, donde el uso de leña húmeda genera emisiones muy superiores a las reportadas en laboratorio. Este hecho presta especial relevancia si se considera lo expresado por un fabricante, que señala que calefactores a leña de eficiencia superior, tienen una mayor emisión de MP, en comparación con versiones menos eficientes usando leña húmeda. Sin embargo, podrían verificarse menores consumos de leña en caso de usar el combustible seco.
5. En lo que respecta a los pellets de madera, si bien se trata de un combustible más estandarizado, el contenido de ceniza de los mismos influye en las necesidades de mantención de los artefactos y, por lo tanto, en la eficiencia y emisiones en su operación.
6. Considerando el tipo de estándar (una eficiencia mínima para calefactores a leña y otra para aquellos que funcionan con pellets de madera determinada con datos de mercado), y el nivel de cumplimiento, se propone continuar con el desarrollo del escenario 3. Esto es aprobado por la contraparte técnica, por lo que los análisis a continuación se centran en el escenario donde los límites para la eficiencia se determinan a través del análisis estadístico de la información de certificación de artefactos en el mercado nacional.

7. IMPACTOS DEL MEPS

Como se indicó, se revisa un escenario donde los límites inferiores para la eficiencia energética se determinan en base a un análisis estadístico del mercado, tanto para calefactores a leña como a pellets de madera, con lo que se obtienen los límites siguientes:

- Calefactores a leña: La eficiencia energética debe ser igual o superior a 68%
- Calefactores a pellets de madera: La eficiencia energética debe ser igual o superior a 85%

En base a esto, se realiza el análisis del MEPS, estableciendo, en primer lugar, el caso base, luego el impacto sobre consumidores y a nivel nacional, considerando el consumo de energía y las emisiones a la atmósfera. Esto se complementa con un análisis de sensibilidad y una propuesta de estándar mínimo de eficiencia energética y cronograma de implementación.

7.1. DETERMINACIÓN DEL CASO BASE

Para la definición del caso base es necesario, en primer lugar, establecer la cantidad de calefactores a leña y pellets de madera operando en Chile, y su tasa de crecimiento. Para poder realizar esto, es necesario contar con información de tenencia de artefactos en 2 años distintos, para estimar la tasa de crecimiento, en base a la fórmula siguiente:

$$Q_{inicio} \cdot (1 + tasa)^n = Q_{finst}$$

Donde:

- Q_{inicio} : Cantidad de artefactos en el periodo inicial
 $tasa$: Tasa de crecimiento del parque. En este caso corresponde a la incógnita
 n : Cantidad de periodos considerados. En este caso, corresponde a años
 Q_{finst} : Cantidad de artefactos en el periodo final

En virtud de lo anterior, para poder estimar la tasa del crecimiento del parque de calefactores (a leña, a pellets de madera y ambos en conjunto), se consultan 2 estudios de caracterización de uso de la energía en el segmento residencial:

Tabla 113. Cantidad de calefactores utilizados en el segmento residencial en Chile

	Leña	Pellets de madera	Fuente
2010	1.629.352	1.780	(Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2010)
2018	2.095.809	50.606	(In-Data, CChC, 2019)

Fuente: Elaboración propia en base a documentos citados

Considerando los valores mostrados en la Tabla 113, es posible estimar la tasa de crecimiento del parque de calefactores a leña y pellets de madera, obteniéndose los valores que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 114. Tasa de crecimiento anual estimada para calefactores, periodo 2010-2018

	Tasa de crecimiento
Leña	3,2%
Pellets de madera	52,0%
Total (leña + pellets de madera)	3,5%

Fuente: Elaboración propia

Considerando el alto valor de la tasa de crecimiento para los calefactores a pellets de madera y que no es posible afirmar que se mantenga a futuro⁸⁹, se considera la tasa de crecimiento para el parque total, para luego estimar la cantidad de calefactores a leña y a pellets de madera en función de la participación de ambas tecnologías en las certificaciones de equipos, según se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 115. Participación en certificaciones de calefactores, según combustible

	2017	2018	2019	2020	2021	Promedio 2017-2021
Leña	74%	73%	63%	64%	78%	71%
Pellets de madera	26%	27%	37%	36%	22%	29%

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la SEC

Luego, proyectando la cantidad de calefactores a nivel residencial, considerando como año de partida el 2018, la tasa de crecimiento del parque total de 3,5% y la participación promedio en las certificaciones para cada tipo de calefactor, se tiene la siguiente proyección:

Tabla 116. Proyección de la cantidad de calefactores a leña y pellets de madera en Chile, 2018-2032

Año	Leña	Pellets de madera	Total
2018 (base)	2.095.809	50.606	2.146.415
2019	2.148.680	72.669	2.221.349
2020	2.203.397	95.502	2.298.899
2021	2.260.024	119.132	2.379.156

⁸⁹ Si se utiliza la tasa de crecimiento determinada para calefactores a pellets, es decir, 52%, se tiene que el crecimiento del parque y la cantidad de nuevos calefactores que se muestra en la tabla siguiente, lo que no es consistente con el promedio de certificaciones observado en la práctica, que alcanza, para el periodo 2017-2020, los 28.666 calefactores a pellets de madera certificados por año.

	Total de calefactores a pellets	Calefactores nuevos que ingresan al parque
2018	50.606	
2019	76.921	26.315
2020	116.920	39.999
2021	177.719	60.798
2022	270.132	92.414
2023	410.601	140.469
2024	624.113	213.512
2025	948.652	324.539

Año	Leña	Pellets de madera	Total
2022	2.318.628	143.587	2.462.215
2023	2.379.278	168.896	2.548.174
2024	2.442.045	195.089	2.637.134
2025	2.507.004	222.195	2.729.199
2026	2.574.230	250.249	2.824.479
2027	2.643.803	279.281	2.923.084
2028	2.715.805	309.327	3.025.133
2029	2.790.321	340.422	3.130.744
2030	2.867.438	372.603	3.240.042
2031	2.947.248	405.907	3.353.155
2032	3.029.844	440.374	3.470.218

Fuente: Elaboración propia

Para evaluar el impacto del MEPS sobre la eficiencia energética del parque, se considera el rendimiento promedio ponderado⁹⁰ de los artefactos certificados entre 2017 y julio de 2021 de aquellos calefactores que no cumple con el estándar, y el de aquellos que sí, además del rendimiento total (considera el promedio ponderado de los que cumplen el estándar y los que no, resultando lo siguiente:

Tabla 117. Eficiencia Energética promedio del parque de calefactores, según cumplimiento del MEPS

	Total	No cumple	Sí cumple	MEPS
Leña	68,02%	62,66%	69,73	67,0%
Pellets de madera	85,85%	80,65%	87,10%	85,0%

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, para evaluar el impacto del MEPS sobre las emisiones, se estima el promedio ponderado de los factores de emisión, en g/h, para los calefactores que no cumplen el estándar, los que sí cumplen, y para el total de los artefactos certificados entre 2017 y julio de 2021, obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 118. De la observación de la misma podría inferirse que el parque de calefactores que no cumplen con el límite de eficiencia establecido por el MEPS tiene en promedio menores emisiones que el parque de los que sí cumplen, sin embargo, el valor del factor de emisiones está en unidades de gramos por hora y, por lo tanto, este valor no considera el efecto de un menor consumo de combustibles, dado el mayor nivel de eficiencia de los artefactos que ingresan al parque. En la sección 7.5 se determinan las emisiones del parque de calefactores que cumplen con el MEPS, considerando el aumento en la eficiencia. Como se mencionó en la sección 4 de este documento, el proceso de combustión es un problema multifactorial con complejos fenómenos físicos no lineales, por lo que los valores mostrados pueden darse en la realidad. Junto con lo anterior, es necesario recalcar que estos valores se obtienen en

⁹⁰ Se considera el rendimiento de un calefactor, ponderado por la cantidad de calefactores certificados de dicho modelo.

condiciones de laboratorio, por lo que lo que se verifique en la práctica podría diferir de manera importante de estos resultados.

Tabla 118. Emisiones de los calefactores, en g/h, según cumplimiento del MEPS

	Total	No cumple	Sí cumple
Leña	1,98	1,91	2,00
Pellets de madera	1,80	1,79	1,81

Fuente: Elaboración propia

7.2. APLICACIÓN METODOLOGÍA PAMS

El Departamento de Tecnologías de la Energía del Berkeley National Laboratory desarrolló el año 2007 la metodología PAMS⁹¹, cuyo nombre proviene de las siglas de “Methodology for the Policy Analysis Modeling System” (Michael A. McNeil, 2007), y tiene como objetivo cuantificar el impacto de la aplicación de estándares de eficiencia energética sobre productos, tanto a nivel de usuario final como a nivel nacional.

La metodología PAMS fue desarrollada para lavadoras, refrigeradores y equipos de aire acondicionado, por lo que para la estimación del impacto se modificó para poder aplicarla a los calefactores. La metodología establece que los mercados de productos tienen una saturación, y que ésta depende de factores como el nivel de ingreso económico del país, la tasa de electrificación y las características climáticas en el caso del aire acondicionado.

7.3. IMPACTO SOBRE EL CONSUMIDOR

En primer lugar, es necesario definir desde cuando se comienza a aplicar el MEPS. Considerando que el aumento de costos es marginal, según se explica en la sección 6 de este documento dado el análisis de precios actuales en el mercado, y que en el mercado existe una oferta amplia de calefactores, tanto a leña como a pellets que cumplen los límites inferiores de eficiencia energética exigidos, se considera adecuada su obligatoriedad desde el 1° de enero de 2023. Se considera que un plazo de un año es suficiente para agotar el stock disponible de calefactores que no cumplen con la norma, y permite a los importadores buscar alternativas para aquellos que no podrían comercializarse en el país luego de la aplicación del MEPS.

7.3.1. CALEFACTORES A LEÑA

Para la evaluación del modelo se consideran los siguientes supuestos, adicionales a la información descrita en el caso base:

- Crecimiento económico: se considera un caso promedio, donde el crecimiento alcanza el 2% anual,
- La tasa de descuento para el consumidor se asume de 7,2% mientras que a nivel nacional se considera la tasa social de descuento, establecida por (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2021), es de 6%

⁹¹ <https://international.lbl.gov/policy-analysis-modeling-system>

- La tasa de cambio del dólar se fija en 758,8 clp/USD, según promedio del dólar observado para el año 2021, calculado con datos del Servicio de Impuestos Internos.⁹²
- El análisis se realiza al año 2032.
- El costo de los energéticos es: 23,6 CLP/kWh
- El consumo de energía por vivienda se obtiene a partir de la demanda de energía promedio de las grandes zonas térmicas C y D de acuerdo a lo indicado en (In-Data, CChC, 2019), que corresponde a 10.781 kWh/año⁹³. Esta demanda es luego transformada en consumo para los casos base y casos MEPS de acuerdo a los rendimientos establecidos para cada caso, para cada energético, con lo que se obtiene lo siguiente:

Tabla 119. Demanda y consumos de energía para calefactores a leña en los casos base y MEPS

Escenario	Artefacto	Demanda energía (kWh/año)	Consumo energía (kWh/año)
Caso base	Calefactor leña	10.781	15.848
Caso MEPS			15.337

Fuente: (In-Data, CChC, 2019)

El precio representativo de la leña se obtiene del valor de Eucaliptus Nitens, con un 25% de humedad, según lo indicado en (Universidad Católica de Temuco, 2015), como se muestra a continuación:

Tabla 120. Precio unitario de la energía y parámetros utilizados para su cálculo, calefactores a leña

Energético	Poder calorífico superior (PCS)	Precio	Precio unitario energía (\$/kWh)
Leña	3,36 (kWh/kg)	40.000 (\$/m ³ st)	23,6

Fuente: Elaboración propia en base a (Ecomás, 2021)

Con lo anterior, se obtienen los siguientes gastos anuales en energía para los escenarios:

Tabla 121. Gastos anuales en energía promedio para calefactores a leña en distintos escenarios considerados

Escenario	Artefacto	Gasto energía (clp)
Caso base	Calefactor leña	\$ 373.694
Caso Meps		\$ 361.643

Fuente: Elaboración propia

Considerando todo lo anterior se tiene que el impacto sobre el consumidor se muestra en las tablas siguientes:

⁹² https://www.sii.cl/valores_y_fechas/dolar/dolar2021.htm#

⁹³ La gran zona térmica C (GZTC) corresponde en términos generales al territorio entre Los Andes y Valdivia. La gran zona térmica D (GZTD) corresponde al territorio entre Puerto Montt y Punta Arenas.

Tabla 122. Comparación para el consumidor del MEPS respecto al caso base, calefactores a leña

	Caso base	Caso MEPS
Eficiencia promedio del parque	68,02%	69,73%
Inversión inicial promedio parque (clp)	387.021	379.059
Consumo de energía (kWh/año)	15.848	15.460
Gasto anual energéticos (clp)	\$373.694	\$364.535
Costo del ciclo de vida (clp)	\$3.323.777	\$3.243.837n

Fuente: Elaboración propia con PAMS

Con respecto a la Tabla 122, la metodología PAMS únicamente utiliza el costo del ciclo de vida (*LCC*) como indicador desde la perspectiva del usuario final, que se calcula de la siguiente manera:

$$LCC = EC + \sum_{n=1}^L \frac{OC}{(1 + TD)^n}$$

En donde:

EC corresponde al costo retail del equipo

n corresponde al año desde la compra del equipo

OC corresponde a los costos de operación anual del equipo

TD corresponde a la tasa de descuento del usuario, considerada como 7,2% para efectos de este estudio

Considerando los resultados de la Tabla 122, se obtienen los impactos para el consumidor siguientes:

Tabla 123. Impacto para el consumidor por MEPS, calefactores a leña

Aumento en la eficiencia	2,5%
Período retorno de la inversión (años)	-
Vida útil⁹⁴	12
Ahorros ciclo de vida (clp)	\$79.940

Fuente: Elaboración propia con PAMS

Es importante destacar que, dado que los calefactores a leña que cumplen con el MEPS presentan, en promedio, precios inferiores a aquellos que no, no hay un sobrecosto en la compra, lo que genera que no se pueda estimar el período de retorno de la inversión.

⁹⁴ Existen fuentes que indican una vida útil de 20 años para este tipo de equipos. Sin embargo, se prefirió utilizar un valor de 12 años, para incorporar la información levantada en los procesos de entrevistas con stakeholders. Según información de fabricantes, algunos equipos pueden presentar fallas en los templadores y componentes estructurales de manejo de gases además de fallas en refractarios y/o vidrios templados, a partir de los dos años.

7.3.2. CALEFACTORES A PELLETS DE MADERA

Para la evaluación del modelo se consideran los siguientes supuestos, adicionales a la información descrita en el caso base:

- Crecimiento económico: se considera un caso promedio, donde el crecimiento alcanza el 2% anual,
- La tasa de descuento para el consumidor se asume de 7,2% mientras que a nivel nacional se considera la tasa social de descuento, establecida por (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2021), es de 6%
- La tasa de cambio del dólar se fija en 758,8 clp/USD, según el promedio del dólar observado para el año 2021, obtenido del Servicio de Impuestos Internos.⁹⁵
- El análisis se realiza al año 2032.
- El consumo de energía por vivienda se obtiene a partir de la demanda de energía promedio de las grandes zonas térmicas C y D de acuerdo a lo indicado en (In-Data, CChC, 2019), que corresponde a 10.781 kWh/año. Esta demanda es luego transformada en consumo para los casos base y casos MEPS de acuerdo a los rendimientos establecidos para cada caso, para cada energético, con lo que se obtiene lo siguiente

Tabla 124. Demanda y consumos de energía para calefactores a pellets en los casos base y MEPS

Escenario	Artefacto	Demanda energía (kWh/año)	Consumo energía (kWh/año)
Caso base	Calefactor pellets	10.781	12.557
Caso MEPS			12.337

Fuente: (In-Data, CChC, 2019)

El precio representativo de pellets se obtiene de diversas fuentes, como se muestra a continuación

Tabla 125. Precio unitario de la energía y parámetros utilizados para su cálculo, calefactores a pellets

Energético	Poder calorífico superior (PCS)	Precio	Fuente	Precio unitario energía (\$/kWh)
Pellets	5,01 (kWh/kg)	227 (\$/kg)	PCS: (Ecomas, s.f.) Precio: (SERNAC, 2021)	45,4

Fuente: Especificadas en tabla

Con lo anterior, se obtienen los siguientes gastos anuales en energía para los escenarios:

Tabla 126. Gastos anuales en energía promedio para calefactores a pellets en distintos escenarios considerados

Escenario	Artefacto	Gasto energía (clp)
-----------	-----------	---------------------

⁹⁵ https://www.sii.cl/valores_y_fechas/dolar/dolar2021.htm#

Caso base	Calefactor pellets	\$569.521
Caso MEPS		\$561.336

Fuente: Elaboración propia

- El precio representativo de calefactores a pellets, obtenido de los análisis realizados en la sección 6.3, de los calefactores es:
 - Caso base: 942.386 clp
 - Caso MEPS: 957.798clp
- Las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al uso de calefactores se obtiene de (European Environment Agency, 2019), y corresponde a: 3,01 kg CO₂eq/kWh, considerando la categoría pellets / briquetas.

Considerando todo lo anterior se tiene que el impacto sobre el consumidor se muestra en las tablas siguientes:

Tabla 127. Comparación para el consumidor del MEPS respecto al caso base, calefactores a pellets de madera

	Caso base	Caso MEPS
Eficiencia	85,85%	87,10%
Inversión inicial (clp)	942.386	\$957.799
Consumo de energía (kWh/año)	12.557	12.337
Gasto anual energéticos (clp)	\$569.521	\$561.336
Costo del ciclo de vida (clp)	\$5.418.090	\$5.369.179

Fuente: Elaboración propia con PAMS

Considerando los resultados de la Tabla 127, se obtienen los impactos para el consumidor siguientes:

Tabla 128. Impacto para el consumidor por MEPS, calefactores a pellets de madera

Aumento en la eficiencia	1,46%
Período retorno de la inversión (años)	1,9
Vida útil	12
Ahorros ciclo de vida (clp)	\$48.910

Fuente: Elaboración propia con PAMS

7.4. IMPACTO ECONÓMICO NACIONAL

El impacto económico de la implementación del MEPS da cuenta de los ahorros agregados a nivel nacional asociados a la disminución del consumo de energía, así como de los costos adicionales en los que deben incurrir los consumidores, que deberán comparar los artefactos que cumplan con el requerimiento del MEPS.

7.4.1. CALEFACTORES A LEÑA

El impacto a nivel nacional, en términos de ahorros económicos y de energía para los calefactores a leña, se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 129. Impacto económico y energético de implementación de MEPS en calefactores a leña

Beneficios económicos [USD]	
Total ahorros de costos de energía acumulados al 2032	703.587.914
Total costo incremental de acumulados al 2032	-30.850.180
Beneficio neto presente*	956.604.872
Ratio Beneficio/Costos*	N/A
Ahorros de energía en el año, GWh	
2022	544
2027	619
2032	682
Ahorros de energía acumulados al año, GWh	
2022	544
2027	3.489
2032	6.775
Energía primaria ahorrada acumulada al año, GWh	
2022	564
2027	3.618
2032	7.026

Fuente: Elaboración propia con PAMS

*En la Tabla 129 la fila de costo incremental resulta negativa, ya que el costo promedio de los artefactos que cumplen con PAMS es menor que el costo de los artefactos que no cumplen. Esto a su vez, se traduce en que la ratio beneficio/costos no es posible de calcular, ya que no existen costos adicionales asociados a la implementación del MEPS.

Los ahorros a nivel nacional indicados en la Tabla 129 anterior se obtienen de la metodología PAMS, y se definen como la diferencia en el consumo de energía entre el consumo del caso base y el consumo con la aplicación de la política pública. En el caso base, se asume que todos los equipos operan con la eficiencia base. En el caso de implementación de la política, los productos que son adquiridos después de la fecha de implementación, se asume que operan con la eficiencia indicada por la política pública. Es decir, los ahorros a nivel nacional están dados por

$$NES = NEC_{base} - NEC_{politica}$$

En donde

NES corresponden a los ahorros a nivel nacional

NEC_{base} corresponde al consumo de energía total del stock nacional de calefactores en el caso base, sin aplicar la política de MEPS.

$NEC_{politica}$ corresponde al consumo de energía total del stock nacional de calefactores en el caso en el que se aplica la política de MEPS propuesta.

El consumo de energía en el caso base para un año y se calcula como

$$NEC(y) = \sum_{edad} Stock(y, edad) \cdot UEC(y - edad)$$

En donde

$Stock(y, edad)$ es el número de productos de antigüedad $edad$ que quedan para cada año. En la metodología PAMS (Michael A. McNeil, 2007) se indica con mayor detalle el cálculo de este valor.

$UEC(y - edad)$ corresponde al uso de energía típico de un calefactor típico, determinado de acuerdo al año de compra del artefacto. El valor de UEC varía entre los casos base y caso MEPS durante años después de la fecha de implementación, debido a la mejora en la eficiencia, de acuerdo a la siguiente relación:

$$UEC = UEC_{base} \cdot Eff_{base} / Eff_{politica}$$

Adicionalmente, el modelo toma en cuenta que la eficiencia de los artefactos en el mercado puede evolucionar debido a otros factores adicionales a la política de eficiencia. En general, hay un incremento en la innovación en el tiempo, debidas al mercado a la mejora en prácticas de manufactura. Para efectos de este estudio, esta mejora se consideró 0%, pero puede ser variada en la planilla de cálculo entregada.

La eficiencia en cada año está dada por

$$Eff(y) = Eff_0 \cdot (1 + R_{eff})^{y-y_0}$$

En donde

Eff_0 corresponde a la eficiencia del artefacto en el año de referencia y_0

R_{eff} corresponde a la tasa de mejora anual de la eficiencia.

Tanto el caso base como el caso con MEPS presentan mejoras en las eficiencias, con la excepción de que después de la implementación de la política, no ocurren mejoras adicionales (asociadas al mercado) hasta el año en que las mejoras de mercado alcanzan al caso con la política implementada. Luego de esta fecha, las mejoras en eficiencia prosiguen con la misma tasa tanto en el caso base como en el caso de la política implementada.

Por último, los ahorros operacionales y los costos de los equipos en el período de evaluación, son llevados a valor presente utilizando la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{(1 + TD_{nacional})^{año - año_{ analisis}}} \cdot \left(\frac{1 - \frac{1}{(1 + TD_{nacional})^{0,5 \cdot vida_{util}}}}{(1 + TD_{nacional}) - 1} \right)$$

7.4.2. CALEFACTORES A PELLETS DE MADERA

El impacto a nivel nacional, en términos de ahorros económicos y de energía, se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 130. Impacto económico y energético de implementación de MEPS en calefactores a pellets de madera

Beneficios económicos [USD]	
Total ahorros de costos de energía acumulados al 2032	31.813.082
Total costo incremental de acumulados al 2032	6.996.704
Beneficio neto presente	24.816.379
Ratio Beneficio/Costos	1,9
Ahorros de energía en el año, [GWh]	
2022	9
2027	27
2032	43
Ahorros de energía acumulados al año, [GWh]	
2022	9
2027	104
2032	289
Energía primaria ahorrada acumulada al año, [GWh]	
2022	10
2027	116
2032	321

Fuente: Elaboración propia con PAMS

7.5. IMPACTO AMBIENTAL

7.5.1. CALEFACTORES A LEÑA

Como ya se mencionó, el factor de emisiones promedio de los calefactores a leña que cumplen con el MEPS es mayor que aquellos que no, pero este factor de emisiones se informa en g/h y por lo tanto no incorpora el efecto de aumento en la eficiencia del calefactor.

En la sección 2.4.3, se demostró que no existe una correlación entre el factor de emisiones y eficiencia de los calefactores, lo que es consistente con lo recopilado del análisis de la situación internacional, por lo que no se puede establecer una correlación que permita determinar las emisiones utilizando las eficiencias del parque de calefactores.

Para incorporar el efecto del aumento de la eficiencia, se considerará que una vivienda utilizará el calefactor una cantidad menor de horas debido a la mayor eficiencia del artefacto.

Como los factores de emisión de los artefactos están en unidades de g/h, es necesario identificar las horas de operación de estos. Para esto, se considera el consumo de cada vivienda de acuerdo a lo indicado en la sección 7.3 y se asume una potencia típica para cada tipología de artefacto, como una potencia ponderada de acuerdo a su participación de mercado en el año 2021.

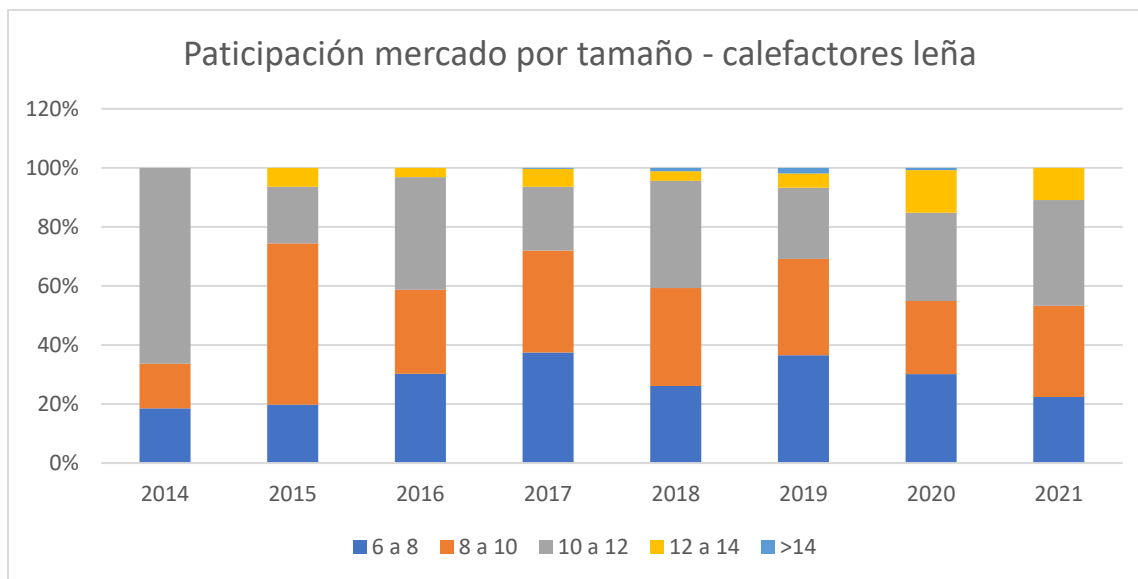


Figura 77 Participación de mercado de los distintos tamaños de calefactores a leña.

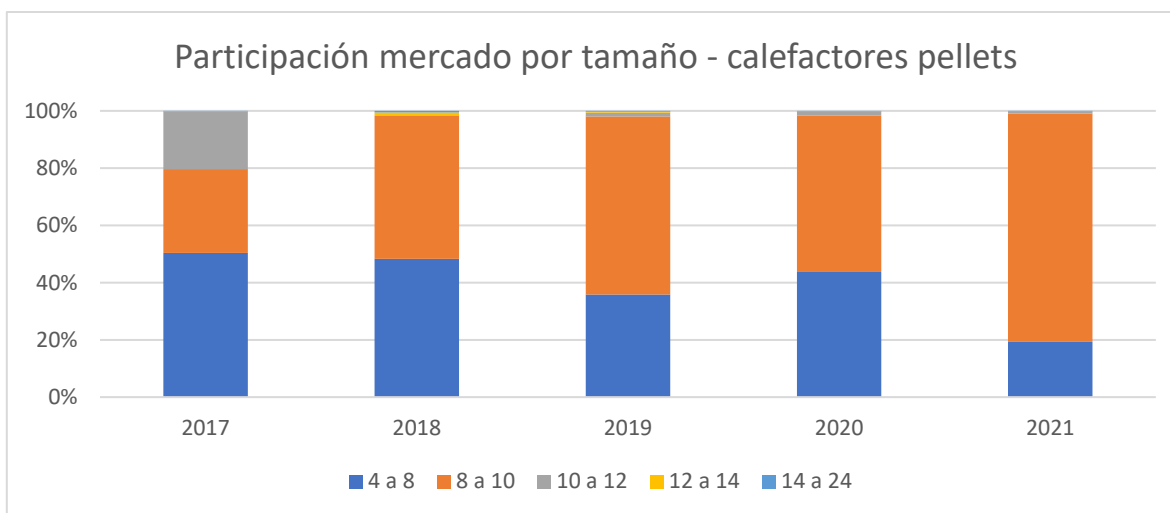


Figura 78 Participación de mercado de los distintos tamaños de calefactores a pellets.

La potencia representativa para los parques de calefactores de leña y pellets son de 9,7 y 8,5 kW respectivamente.

De esta manera, las horas de operación para un artefacto se calculan como:

$$H_{op\text{artefacto}} = \frac{\text{Consumo}_{\text{artefacto}}}{P_{\text{media}_{\text{artefacto}}}}$$

Donde:

$\text{Consumo}_{\text{artefacto}}$: Corresponde al consumo asociado al artefacto, en kWh/año.

$P_{media_{artefacto}}$: Corresponde a la potencia media del parque de calefactores de cada tipo, en kW.

Al evaluar el escenario base y el escenario de MEPS, se tiene que en este último caso la energía consumida por la vivienda es menor (debido a la mayor eficiencia del equipo) y, por lo tanto, los calefactores deberán funcionar una menor cantidad de horas. El resultado de esta evaluación se muestra a continuación:

Tabla 131. Emisiones de MP2,5 evitadas acumuladas por calefactores a leña a nivel nacional, según año

	Emisiones evitadas acumuladas (Ton)
2022	34,7
2027	226,9
2032	441,9

Fuente: Elaboración propia con PAMS

Los resultados a nivel nacional de la tabla anterior indican que existe una disminución de las emisiones de MP2,5 debido a la aplicación del MEPS. Además de obtener la reducción de emisiones a nivel nacional, es necesario analizar lo que sucede a una escala local, para poder evaluar posteriormente los efectos de la disminución de emisiones en la salud. Para esto, se realizó un análisis a nivel local, considerando los calefactores existentes en distintas comunas con PDA vigente:

Tabla 132 Emisiones de MP2,5 evitadas por calefactores a leña, según año y localidad, en [ton PM2,5/año]

	2022	2027	2032
Talca y Maule	1,60	1,48	1,33
Chillán y Chillán Viejo	2,25	2,02	1,78
Los Ángeles	2,22	1,99	1,75
Temuco y Padre Las Casas	1,98	1,76	1,53
Valdivia	1,28	1,16	1,04
Osorno	1,06	0,97	0,87
Coyhaique	1,69	1,49	1,29

Fuente: Elaboración propia

Los valores de la Tabla 132 significan que para todas las localidades evaluadas hubo una disminución en las emisiones de MP2,5. Los impactos de esta disminución en las emisiones se valorizan en la sección 7.6.1.

7.5.2. CALEFACTORES A PELLETS DE MADERA

Como ya se mencionó, el factor de emisiones del parque promedio de calefactores a pellets de madera que cumplen con el MEPS es mayor que aquellos que no. Sin embargo, como se aprecia en la Tabla 133, el aumento en eficiencia de los calefactores compensa el mayor factor de emisión promedio, y se tiene una reducción en las emisiones de MP2,5:

Tabla 133. Emisiones de MP2,5 evitadas por calefactores a pellets de madera a nivel nacional, según año

	Emisiones evitadas (Ton)
2022	1,7
2027	19,2
2032	52,7

Fuente: Elaboración propia con PAMS

A nivel local, la situación para los calefactores a pellets de madera se refleja en la Tabla 134

Tabla 134. Emisiones de MP2,5 evitadas por calefactores a pellets de madera, según año y localidad, en toneladas

	2022	2027	2032
Talca y Maule	0,08	0,15	0,23
Chillán y Chillán Viejo	0,12	0,22	0,34
Los Ángeles	0,10	0,19	0,29
Temuco y Padre Las Casas	0,12	0,21	0,33
Valdivia	0,06	0,11	0,17
Osorno	0,05	0,09	0,14
Coyhaique	0,08	0,15	0,22

Fuente: Elaboración propia

7.6. VALORIZACIÓN IMPACTOS AMBIENTALES

Para valorizar los beneficios asociados a la reducción o aumento de la emisión de MP2,5 se utiliza un método simplificado propuesto por (GreenLabUC, 2012), en donde se hace una relación directa entre la reducción en las concentraciones y los beneficios logrados. Sin embargo, este método no permite conocer el detalle de los beneficios (por ejemplo, días laborales, pérdida de productividad, etc.). La media de los valores propuestos por el estudio, así como los límites bajo y alto en el intervalo de confianza se muestran en la Tabla 135:

Tabla 135. Beneficios económicos por reducción en las emisiones de MP2,5

Región	PM 2,5 (MMUSD/($\mu\text{g}/\text{m}^3$))		
	Media	IC 95% bajo	IC 95% alto
Tarapacá	1,9	1,1	3,3
Antofagasta	3,9	2,3	6,7
Atacama	1,4	0,9	2,5
Coquimbo	4,3	2,5	7,5
Valparaíso	13,8	7,9	2,4
O'Higgins	5,5	3,1	9,5
Maule	6,6	3,7	11,4
Bío Bío	21,2	12	37,1
Araucanía	5,4	3,1	9,3

Región	PM 2,5 (MMUSD/(µg/m3))		
	Media	IC 95% bajo	IC 95% alto
Los Lagos	4,7	2,7	8,2
Aysén	0,5	0,3	0,9
Magallanes	1,6	0,9	2,8
Región Metropolitana	45,7	26,5	78,9
Los Ríos	2,6	1,5	4,5
Arica	1,1	0,6	1,9

Fuente: (GreenLabUC, 2012)

Los valores indicados por (GreenLabUC, 2012) son para material particulado en general, independiente de su origen, por lo que son válidos tanto para el caso de leña como el de pellets.

Para obtener los ahorros o costos asociados a una disminución o aumento en la concentración de MP2,5, los valores de la Tabla 135 deben ser multiplicados por este cambio en las concentraciones. Para determinar los cambios en la concentración, se utilizan los Factor Emisión Concentración (FEC) obtenidos de los distintos PDAs para las distintas comunas, que relacionan los cambios en emisiones con los cambios en las concentraciones en el aire para un determinado contaminante. Es decir:

$$\Delta C = FEC/\Delta E$$

En donde:

ΔC corresponde al cambio en las concentraciones para MP2,5

FEC Corresponde al factor emisión concentración, específico para cada localidad

ΔE Corresponde a la variación de emisiones de MP2,5

Tabla 136. Factores de emisión – concentración (FEC) para distintas ciudades y para distintos contaminantes

Región	Ciudad/Zona	MP10	MP2,5	SO2	SOx	NOx	NH3	PRS
Antofagasta	Calama		2.160		86.100	866		71.700
	Tocopilla	48	32	2.909	11.000	3.530		-
Atacama	Huasco	29						
Valparaíso	Gran Valparaíso		98		1.300	1.610		59.100
	Ventanas		35		16.800	824		840
	Puchuncaví (1)	29	60	1.351		413		
	Región Total		892		46.200	2.950		50.200
Maule	Chillán		245,0					
	Talca		37,8					
O'Higgins	Región Total		919		57.500	2.700		48.000
Biobío	Chiguayante		60	202		212	78	
	Concepción		173	582		620	226	
	Coronel		148	499		524	194	
	Coronel (2)	181,4	430,0			597		
	Hualpén		203	684		717	265	
	Hualqui		19	64		68	25	

Región	Ciudad/Zona	MP10	MP2,5	SO2	SOx	NOx	NH3	PRS
	Lota		143	482		505	187	
	Penco		71	239		250	92	
	San Pedro de la Paz		122	412		432	160	
	Talcahuano		210	706		741	274	
	Tomé		49	166		174	64	
	Los Ángeles		245,0					
	Gran Concepción		1.080			7.170	2.250	6.250
Araucanía	Gran Temuco		125		-	-		10.100
Los Lagos	Osorno		313,0					
Los Ríos	Valdivia		233,9					
Aysén	Coyhaique		136,5					
(1) Calculado a partir de los siguientes datos: Emisión: Concón, Quintero, Puchuncaví; Concentración: Puchuncaví								
(2) Calculado a partir de los siguientes datos: Emisión: Concepción Metropolitano; Concentración: Coronel								
Fuentes:								
(DICTUC, 2009)								
(MMA, 2018)								
Elaboración propia con datos de estaciones meteorológicas.								
Obtenidos de los AGIES de cada ciudad: (División de información y economía ambiental Ministerio de Medio Ambiente, 2017) (Departamento de Economía Ambiental Ministerio del Medio Ambiente, 2015) (Departamento de Economía Ambiental Ministerio del Medio Ambiente, 2015) (Departamento de Economía Ambiental Ministerio de Medio Ambiente, 2017)								

7.6.1. CALEFACTORES A LEÑA

Utilizando los valores de la Tabla 135, se estiman los costos o ahorros asociados a la disminución o aumento de las concentraciones de MP2,5 en las distintas localidades evaluadas. La valorización de este impacto se muestra en la tabla a continuación:

Tabla 137. Valorización de los impactos ambientales producidos por el cambio en las concentraciones de MP2,5 por la aplicación de MEPS para calefactores a leña, en localidades seleccionadas

Localidad	Costos o ahorros acumulados [USD]		
	2022	2027	2032
Talca y Maule	280.180	1.617.355	2.835.117
Chillán y Chillán Viejo	60.609	345.545	598.912
Los Ángeles	191.778	1.092.569	1.891.693
Temuco y Padre Las Casas	85.663	485.405	835.637
Valdivia	14.249	81.562	142.041
Osorno	15.908	91.335	159.498
Coyhaique	6.177	34.940	60.074
Total	654.564	3.748.711	6.522.971

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 138 presenta valores positivos para las distintas localidades, lo que significa que la disminución en las concentraciones de MP2,5 en cada ciudad genera ahorros a nivel social, mediante la disminución de tasas de mortalidad, morbilidad, hospitalizaciones, ausentismo laboral, etc.

7.6.2. CALEFACTORES A PELLETS DE MADERA

De igual manera como se valorizaron los cambios en las concentraciones asociadas a MP2,5 para calefactores a leña, se realizó el mismo ejercicio para calefactores a pellets de madera y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 138. Valorización de los impactos ambientales producidos por el cambio en las concentraciones de MP2,5 por la aplicación de MEPS para calefactores a pellets de madera, en localidades seleccionadas

Localidad	Ahorros o costos acumulados [USD]		
	2022	2027	2032
Talca y Maule	14.384	121.233	293.268
Chillán y Chillán Viejo	3.298	27.794	67.234
Los Ángeles	9.029	76.097	184.083
Temuco y Padre Las Casas	5.063	42.673	103.228
Valdivia	667	5.621	13.597
Osorno	771	6.498	15.720
Coyhaique	6.177	34.940	60.074
Total	39.389	314.855	737.202

Fuente: Elaboración propia

Al igual que para el caso de calefactores a leña, la Tabla 138 indica que en todas las ciudades evaluadas se tienen ahorros asociados a la disminución en las concentraciones de MP2,5.

7.7. COSTOS Y BENEFICIOS TOTALES

En las secciones anteriores, se evaluaron de manera los impactos económicos a nivel nacional, así como una valorización de los impactos ambientales para distintas localidades. A continuación, se muestran los beneficios netos en estos dos ítems de manera conjunta, para evaluar los efectos de aplicar el MEPS en cada una de las tipologías de calefactores

7.7.1. CALEFACTORES A LEÑA

A continuación, se aprecia la situación asociada a calefactores a leña.

Tabla 139. Beneficios y costos totales, incluyendo aspectos económicos, energéticos y ambientales para la implementación del MEPS en calefactores a leña

Parámetro	Valor [USD]
Total ahorros de costos de energía acumulados al 2032 (1)	703.587.914
Valorización por concentración de MP2,5 al 2032 (2)	6.522.971
Total costo incremental de acumulados al 2032 (3)	-30.850.180
TOTAL BENEFICIO (1) +(2)	923.969.284

Parámetro	Valor [USD]
TOTAL COSTOS (3)	-30.850.180
*Ratio Costo / Beneficio TOTAL ((1)+(2))/(3)	N/A

Fuente: Elaboración propia

Al igual que los resultados obtenidos en la sección 7.4.1, se debe tener en cuenta que la definición del ratio costo beneficio está planteada pensando en que existe un costo positivo (mayores costos de compra del artefacto para los usuarios), y que los beneficios también son positivos (asociados a ahorros de energía, valorización de emisiones, etc.). Sin embargo, en este caso se tiene un costo negativo ya que el costo promedio de los calefactores que cumplen con el MEPS es menor que el costo promedio de los calefactores que no cumplen. Si se toma el valor obtenido para los costos, se obtiene una ratio de -29,9, pero que no refleja el verdadero sentido del indicador.

7.7.2. CALEFACTORES A PELLETS DE MADERA

De manera análoga a lo realizado para calefactores a leña, se obtienen los siguientes valores para calefactores de pellets a madera:

Tabla 140. Beneficios y costos totales, incluyendo aspectos económicos, energéticos y ambientales para la implementación del MEPS en calefactores a leña

Parámetro	Valor
Total ahorros de costos de energía acumulados al 2032 (1)	31.813.082
Valorización por concentración de MP2,5 al 2032 (2)	737.202
Total costo incremental de acumulados al 2032 (3)	6.996.704
TOTAL BENEFICIO (1) +(2)	32.550.284
TOTAL COSTOS (3)	6.996.704
Ratio Costo / Beneficio TOTAL ((1)+(2))/(3)	4,6

Fuente: Elaboración propia

En este caso, la ratio obtenida es de 4,6, lo que implica que la implementación de esta política es positiva.

7.8. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

A continuación, se presentan los resultados de las distintas sensibilizaciones realizadas a la evaluación del impacto de los MEPS.

7.8.1. CRECIMIENTO ECONÓMICO

En primer lugar, se considera sensibilizar el crecimiento económico, considerando un crecimiento bajo y por sobre el caso promedio estudiado.

CALEFACTORES A LEÑA

Consistente con el análisis realizado para todo el país, se entrega la información de sensibilización de los impactos económicos y en energía por la implementación del MEPS en calefactores a leña:

Tabla 141. Sensibilización del crecimiento económico en el impacto del MEPS para calefactores a leña

	Crecimiento de la economía		
	Promedio (2%)	Alto (4,1%)	Bajo (1,7%)
Beneficios económicos, USD			
Total ahorros de costos de energía acumulados al 2032	703.587.914	940.347.446	679.524.117
Total costo incremental de acumulados al 2032	-30.850.180	-43.628.385	-29.605.589
Beneficio neto presente	734.438.094	983.975.831	709.129.707
Ratio Beneficio/Costos	N/A	N/A	N/A
Ahorros de energía en el año, GWh			
2022	544	664	530
2027	619	814	599
2032	682	971	654
Ahorros de energía acumulados, GWh			
2022	544	664	530
2027	3.489	4.424	3.388
2032	6.775	8.959	6.551
Energía primaria ahorrada acumulada, GWh			
2022	564	689	550
2027	3.618	4.588	3.514
2032	7.026	9.291	6.793
Emisiones de MP2,5 evitadas acumuladas, en Ton MP2,5			
2022	34,7	45,3	33,5
2027	226,9	308,5	218,4
2032	441,9	628,3	423,4

Fuente: Elaboración propia con PAMS

En general, se puede ver que debido a la convención utilizada de tomar el valor absoluto de la ratio beneficio/costo, los valores obtenidos no son proporcionales a los ahorros de energía acumulados. En general, la ratio beneficio costos debería ser infinito ya que los costos adicionales son cero.

CALEFACTORES A PELLETS DE MADERA

Consistente con el análisis realizado para todo el país, se entrega la información de sensibilización de los impactos económicos y en energía por la implementación del MEPS en calefactores a pellets de madera:

Tabla 142. Sensibilización del crecimiento económico en el impacto del MEPS para calefactores a pellets de madera

	Crecimiento de la economía		
	Promedio (2%)	Alto (4,1%)	Bajo (1,7%)
Beneficios económicos			
Total ahorros de costos de energía acumulados al 2032	31.813.082	33.310.438	31.445.582

	Crecimiento de la economía		
	Promedio (2%)	Alto (4,1%)	Bajo (1,7%)
Total costo incremental de acumulados al 2032	6.996.704	7.322.782	6.907.790
Beneficio neto presente	24.816.379	25.987.657	24.537.792
Ratio Beneficio/Costos	4,6	4,6	4,6
Ahorros de energía en el año, GWh			
2022	9,0	9,4	8,9
2027	26,5	27,8	26,2
2032	43,4	45,4	42,8
Ahorros de energía acumulados, GWh			
2022	9,0	9,4	8,9
2027	104,4	109,3	103,4
2032	288,5	302,1	e
Energía primaria ahorrada acumulada, GWh			
2022	10,0	10,5	10,0
2027	116,2	121,7	115,1
2032	321,1	336,3	317,5
Emisiones de MP2,5 evitadas acumuladas, en Ton MP2,5			
2022	1,7	1,7	1,6
2027	19,2	20,1	19,0
2032	52,7	55,1	52,1

Fuente: Elaboración propia con PAMS

7.8.2. CRECIMIENTO DEL PARQUE DE CALEFACTORES

Se considera un escenario donde el crecimiento del parque de calefactores es limitado en un 20%, dadas las restricciones impuestas al uso de combustibles sólidos en la normativa ambiental.

A continuación, se evalúa la situación con una tasa de crecimiento total del parque de 2,8%, equivalente a disminuir la tasa de crecimiento de leña a un 2%, que se estima reduciendo la tasa global mostrada en la Tabla 114.

CALEFACTORES A LEÑA

A continuación, se presenta la sensibilización del crecimiento del parque de calefactores a leña.

Tabla 143. Sensibilización de crecimiento del parque de calefactores a

	Crecimiento leña estándar (3,2%)	Crecimiento leña ajustado (2,8%)
Total ahorros de costos de energía acumulados al 2032	703.587.914	654.945.558
Total costo incremental de acumulados al 2032	-30.850.180	-28.716.620
Beneficio neto presente	734.438.094	683.662.178

	Crecimiento leña estándar (3,2%)	Crecimiento leña ajustado (2,8%)
Ratio Beneficio/Costos	N/A	N/A
Ahorros de energía en el año [GWh/año]		
2022	544	506
2027	619	577
2032	682	635
Ahorros de energía acumulados [GWh]		
2022	544	506
2027	3.489	3.247
2032	6.775	6.307
Energía primaria ahorrada acumulada [GWh]		
2022	564	525
2027	3.618	3.368
2032	7.026	6.540
Emisiones de MP2,5 evitadas acumuladas [Ton]		
2022	34,7	-104
2027	226,9	-652
2032	441,9	-1.264

Fuente: Elaboración propia con PAMS

En este caso, se puede apreciar que un crecimiento menor de la demanda implica que los ahorros de emisiones asociados a una mayor eficiencia de los calefactores no son suficientes para compensar un aumento en el factor de emisiones promedio del parque de calefactores que sí cumple con el MEPS.

CALEFACTORES A PELLETS DE MADERA

Como se mencionó anteriormente, se modifica el crecimiento del parque a pellets de madera, lo que también afecta el parque de pellets. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 144. Sensibilización de crecimiento del parque de calefactores a pellets de madera

	Crecimiento estándar (3,2%)	Crecimiento ajustado (2,8%)
Total ahorros de costos de energía acumulados al 2032	31.813.082	28.017.976
Total costo incremental de acumulados al 2032	6.996.704	6.029.498
Beneficio neto presente	24.816.379	21.988.477
Ratio Beneficio/Costos	4,6	4,7
Ahorros de energía en el año [GWh/año]		
2022	9,0	8,5
2027	26,5	23,7
2032	43,4	37,4
Ahorros de energía acumulados [GWh]		
2022	9,0	8,5

	Crecimiento estándar (3,2%)	Crecimiento ajustado (2,8%)
2027	104,4	94,9
2032	288,5	255,5
Energía primaria ahorrada acumulada [GWh]		
2022	10,0	9,4
2027	116,2	105,6
2032	321,1	284,3
Emisiones de MP2,5 evitadas acumuladas [Ton]		
2022	1,7	2
2027	19,2	17
2032	52,7	47

Fuente: Elaboración propia

7.8.3. VIDA ÚTIL ARTEFACTOS

Como último parámetro a sensibilizar, se modifica la vida útil de los artefactos, pasando de 12 años a 15 y 20 años. Se mantienen las suposiciones indicadas en el caso base sobre el crecimiento de la economía, los costos, parámetros financieros, etc. Los resultados obtenidos se muestran de manera comparada con los resultados obtenidos inicialmente, tanto para calefactores a leña como para calefactores a pellets.

CALEFACTORES A LEÑA

Los resultados para los calefactores a leña se muestran a continuación:

Tabla 145 Análisis de sensibilidad al considerar una vida útil de 12, 15 y 20 años para los calefactores a leña

	Vida útil 12 años	Vida útil 15 años	Vida útil 20 años
Total ahorros de costos de energía acumulados al 2032	703.587.914	623.740.876	567.133.947
Total costo incremental de acumulados al 2032	-30.850.180	-25.374.339	-21.652.754
Beneficio neto presente	734.438.094	649.115.215	588.786.701
Ratio Beneficio/Costos	N/A	N/A	N/A
Ahorros de energía en el año			
2022	544	483	347
2027	619	502	447
2032	682	576	490
Ahorros de energía acumulados			
2022	544	483	347
2027	3.489	2.938	2.383
2032	6.775	5.650	4.779
Energía primaria ahorrada acumulada			
2022	564	500	360
2027	3.618	3.047	2.471

	Vida útil 12 años	Vida útil 15 años	Vida útil 20 años
2032	7.026	5.859	4.956
Emisiones de MP2,5 evitadas acumuladas			
2022	34,7	21,5	-5,8
2027	226,9	111,6	-0,3
2032	441,9	208,7	29,1

Se puede apreciar que para el caso en que se considera una vida útil de 20 años, los ahorros asociados a emisiones no aparecen hasta el año 2032, esto se debe a que el recambio de calefactores es más lento que en el caso de 12 años considerado inicialmente, por lo que se mantienen las emisiones del caso inicial y los ahorros en eficiencia no alcanzan a compensar el mayor factor de emisión del parque de calefactores nuevo.

CALEFACTORES A PELLETS DE MADERA

Se realizó el mismo ejercicio que para los calefactores a leña y se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 146 Análisis de sensibilidad al considerar una vida útil de 12, 15 y 20 años para los calefactores a pellets de madera

	Vida útil 12 años	Vida útil 15 años	Vida útil 20 años
Total ahorros de costos de energía acumulados al 2032	31.813.082	33.678.662	36.930.938
Total costo incremental de acumulados al 2032	6.996.704	6.452.370	6.225.551
Beneficio neto presente	24.816.379	27.226.291	30.705.387
Ratio Beneficio/Costos	4,6	5,2	5,9
Ahorros de energía en el año [GWh/año]			
2022	9,0	9,0	9,0
2027	26,5	26,7	26,7
2032	43,4	41,5	40,7
Ahorros de energía acumulados [GWh]			
2022	9,0	9,0	9,0
2027	104,4	104,8	104,9
2032	288,5	285,9	284,8
Energía primaria ahorrada acumulada [GWh]			
2022	10,0	10,1	10,1
2027	116,2	116,7	116,8
2032	321,1	318,2	316,9
Emisiones de MP2,5 evitadas acumuladas [Ton]			
2022	1,7	1,7	1,7
2027	19,2	19,3	19,3
2032	52,7	52,0	51,7

7.9. PROPUESTA DE ESTÁNDAR

Para el establecimiento del estándar, se toma como referencia la Resolución Exenta 10 de 2020⁹⁶ del Ministerio de Energía, y se adecúa en los aspectos técnicos para ser aplicable a calefactores a leña, y a pellets de madera. Es importante mencionar que no se considera modificación alguna a los protocolos SEC de la serie PC 200 y PC 201

RESOLUCIÓN: FIJA ESTÁNDAR MÍNIMO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA PRODUCTOS DE USO EN ILUMINACIÓN INTERIOR QUE INDICA

I.- Fijase el siguiente estándar mínimo de eficiencia energética para productos de uso en calefacción residencial que utilizan leña u otros dendroenergéticos como combustibles,

No se podrán comercializar, por parte del fabricante y/o importador, productos de uso en calefacción residencial que utilizan leña u otros dendroenergéticos como combustibles definidos en el siguiente Alcance y de acuerdo al Cronograma de Aplicación:

Alcance:

El presente estándar mínimo de eficiencia energética cubrirá los siguientes productos utilizados en calefacción residencial que usan leña u otros dendroenergéticos como combustibles:

- Calefactores que utilizan leña como combustible, de una potencia menor o igual a 25 kW, de acuerdo al alcance y campo de aplicación de NCh3173:2009
- Calefactores que utilizan pellets de madera como combustible, de una potencia menor o igual a 25 kW, de acuerdo al alcance y campo de aplicación de NCh3282 Of.2013

La eficiencia es calculada según el procedimiento establecido para cada tipo de artefacto, en las normas y protocolos chilenos siguientes:

- Calefactores que utilizan leña como combustible, según norma: NCh3173:2009 Estufas que utilizan combustibles sólidos - Requisitos y métodos de ensayo.
- Calefactores que utilizan pellets de madera como combustible, según Artefactos de calefacción doméstica que utilizan pellets de madera - Requisitos y métodos de ensayo

Límites y cronograma de aplicación:

El estándar mínimo de eficiencia energética se establecerá de manera gradual, y en base a la métrica de eficiencia porcentual (η) para calefactores que utilizan leña u otros dendroenergéticos como combustibles.

La eficiencia se calcula de acuerdo a la norma NCh3173.Of2009 para calefactores a leña, lo que es equivalente a lo establecido en NCh 3282.2012 para calefactores a pellets de madera, como:

$$\eta = 1 - (qa+qb+qr)$$

⁹⁶ Resolución Exenta 10 de 2020, del Ministerio de Energía. FIJA ESTÁNDAR MÍNIMO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA PRODUCTOS DE USO EN ILUMINACIÓN INTERIOR QUE INDICA.

Donde:

qa está asociado al calor sensible de los humos

qb está asociado al calor latente de los humos.

qr está asociado a los residuos no quemados.

Luego, el conograma de aplicación se establece de la siguiente manera:

Calefactores a leña

- Eficiencia mínima en 68%, desde el 1 de enero de 2023.

Calefactores a pellets de madera

- Eficiencia mínima en 85%, desde el 1 de enero de 2023.

Lo anterior implica que:

- A partir del 1 de enero de 2023 no se podrán comercializar aquellos calefactores a leña que tengan un rendimiento de combustión a la potencia térmica nominal menor a 68%, ni calefactores a pellets de madera con una Eficiencia Energética menor a 85%

II.- Infórmese a la Superintendencia de Electricidad y Combustibles lo dispuesto en la presente resolución, para que en atención a lo dispuesto en el artículo 10º del decreto N° 97, de 2011, del Ministerio de Energía, que Aprueba Reglamento que establece el procedimiento para la fijación de estándares mínimos de eficiencia energética y normas para su aplicación, adecue sus normas técnicas con el objeto que los Organismos de Certificación sólo emitan el certificado de aprobación en los casos que los productos cumplan con el estándar mínimo de eficiencia energética fijado mediante la presente resolución, cumpliendo con las fechas de aplicación del Estándar Mínimo de Eficiencia Energética establecido.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de realizado el análisis, es posible concluir lo siguiente:

- De la realización de los talleres de trabajo, se destaca que la etiqueta de eficiencia energética no está siendo un determinante a la hora de decidir la compra. A juicio de los fabricantes consultados en el desarrollo de este trabajo, con lo que ATS Energía coincide, la etiqueta debiese ser reformulada considerando la entrega de información que sea valorada por los consumidores, como por ejemplo un consumo estandarizado, como sucede con el caso de los vehículos livianos en Chile. Del mismo modo, se propone, como se recogió de las entrevistas, establecer una escala de colores que permita identificar si un calefactor es más o menos emisor de MP. Del mismo modo, se considera pertinente incorporar una mayor cantidad de categorías de eficiencia energética, con el fin de permitir una mejor categorización de los calefactores.
- De la experiencia de Australia y Nueva Zelanda se recoge que, considerando que las emisiones y la eficiencia pueden tener una relación inversa, se propone estudiar la posibilidad de realizar un MEPS que imponga exigencias respecto de la eficiencia mínima, junto con determinar un máximo de emisiones más estricto que lo que actualmente se impone.
- En el mercado nacional de fabricantes y proveedores, tanto para calefactores a pellets de madera como a leña, no se observa una relación de costos con los rendimientos energéticos ni con factores de emisión ambiental. La correlación de costo queda definida principalmente por la potencia térmica nominal del equipo. Esto es consistente con lo que los fabricantes informaron respecto de que la selección de estos equipos, por parte de los compradores, queda definida con la superficie que es capaz de calefaccionar el equipo a comprar. Esta mala práctica requiere ser corregida en el tiempo. Una buena opción, a futuro, es aprovechar el Manual de Procedimientos de Calificación Energética de Viviendas en Chile para indexar la demanda de energía de calefacción y la potencia nominal de calefactores junto a la eficiencia energética.
- En relación a los ensayos de laboratorio de los equipos, a pesar que los fabricantes valoran la profesionalidad de los respectivos laboratorios, consideran que los costos son excesivos y una barrera para mejoras energéticas en los respectivos equipos. Es por esto que se propone revisar los requerimientos de ensayo y el costo de los mismos para determinar si esto corresponde a una barrera de mercado.
- Considerando que Europa mediante el Reglamento (UE) 2015/1185 ha establecido nuevos requisitos para equipos de calefacción local que entren al mercado a partir del 1 de enero del 2022, y que el mercado de Chile se abastece de equipos construidos en Europa, se hace necesario revisar los métodos de ensayo de laboratorios nacionales. Entre las razones principales se tienen, oportunidad de introducir al mercado nacional nuevos diseños de equipos que satisfacen tendencias de Ecodesign, así como ajustar a nivel nacional valores de eficiencia energética más representativos de la realidad y de la tecnología disponible. Por otra parte, dada la nueva exigencia europea de cuantificar otros gases tales como compuestos orgánicos gaseosos, NOx, factores de emisión de CO más exigentes además de nuevos valores de material particulado, es del todo pertinente revisar la metodología de ensayo con el objetivo de tener una mejor actualización de la realidad energética y ambiental de tales equipos.

- Técnicamente, además de las nuevas exigencias europeas en materia de emisión enunciadas en el punto anterior, para el material particulado, dependiendo del tipo de medición realizada se imponen diferentes tasas de emisión de material particulado. En particular, se consideran los siguientes tipos de muestreo:
 - Muestreo parcial de gas de combustión seco a través de filtro caliente
 - Muestreo parcial de gas de combustión diluido en circulación natural utilizando túnel de dilución de flujo total a temperatura ambiente
 - Medición de 30 minutos con gas diluido a 12 Pa de presión, medido en túnel de dilución de flujo total con filtro a temperatura ambiente

Es importante mencionar que esto no es aplicable en Chile. La norma de Ecodiseño hace la división entre MP2,5 y MP10. Además, exige medición de NO_x, CO₂, COV y CO, siendo este último, la única aplicable a la medición tipo en Chile. Complementario a lo anterior, el MP se debe expresar en g/kg de combustible seco. Entonces, para aplicar la normativa europea en Chile, sería necesario adoptar una nueva base de reglamentación, concordante con la realidad europea, toda vez que representa un avance con la situación nacional.

- En la normativa europea, se establece el concepto de "eficiencia energética estacional de calefacción de espacios". Este, se define como la relación entre la demanda de calefacción de espacios, suministrada por un aparato de calefacción local de combustible sólido, y el consumo anual de energía necesario para satisfacer dicha demanda, expresada en porcentaje. Técnicamente, en este concepto se incluyen de mejor manera aquellos aspectos tecnológicos incluidos por los fabricantes en sus respectivos equipos; específicamente, a la eficiencia energética base, se utilizan factores de corrección debido a la contribución de los controles para conseguir la temperatura interior deseada. Por esta razón, este equipo consultor recomienda estudiar su aplicación en Chile.
- Con respecto a los impactos derivados de la aplicación del MEPS, se cuantificaron tres tipos de impactos:
 - El impacto a nivel de consumidor: Se evaluó el costo del ciclo de vida para un consumidor que adquiere un calefactor a leña o a pellets de madera.

En el caso del calefactor a leña, el retorno de la inversión para el consumidor es inmediato, ya que el costo promedio del parque de calefactores que cumplen con el MEPS propuesto es menor al parque de los calefactores que no cumplen.

En el caso de los calefactores a pellets de madera, se tiene que el período de retorno de la inversión adicional para el consumidor al comprar un artefacto que cumpla con el MEPS, es de 1,9 años.
 - El impacto a nivel nacional, asociado a los ahorros en energía derivados de una mayor eficiencia en los artefactos: Tanto en el caso de calefactores a leña como de calefactores a pellets de madera, los beneficios económicos asociados al ahorro de energía sobrepasan a los costos adicionales de adquisición para el público.

En el caso de calefactores a leña, los ahorros al 2032, traídos a valor presente son del orden de 700 MMUSD en energía, además de existir un ahorro de

30MM USD en costos de calefactores, debido a que el precio promedio del parque de calefactores que cumple con MEPS es más económico que el precio promedio del parque de calefactores que no cumple con MEPS.

En el caso de pellets de madera, los ahorros hasta el año 2032 traídos a valor presente son del orden de 32 MMUSD, y el costo adicional de calefactores es del orden de 7 MMUSD para el mismo período.

- o Impacto en salud: asociado a la variación de emisiones y concentraciones de material particulado en localidades que cuentan con información del parque de calefactores y que cuentan con datos de estaciones meteorológicas sobre la concentración de MP2,5. Se utilizó un análisis simplificado que no permite distinguir qué porcentaje de este impacto está asociado a mortalidad, morbilidad, ausentismo laboral, etc.

Los factores de emisión están en g/h, por lo que para tomar en cuenta las mejoras en eficiencia al aplicar el MEPS, se determinaron las horas de uso para los calefactores.

Para el caso de calefactores a leña, se obtuvo que existe una disminución de las emisiones de MP 2,5 acumuladas en el período 2022 – 2032, de 442 toneladas de MP2,5. Para valorizar esta reducción de emisiones, se realiza un análisis a nivel local en distintas ciudades que cuentan con información disponible, y se obtiene que al año 2032, esta reducción en emisiones significa un beneficio del orden de 6,5MMUSD en salud.

En el caso de calefactores a pellets de madera, la reducción de emisiones de MP2,5 a nivel nacional se estimó en 52,7 toneladas, acumuladas al año 2032. Se valoriza la reducción de emisiones en ciudades que cuentan con información, y se obtiene que la reducción de emisiones significa un ahorro de 737.000 USD acumulados al año 2032.

- Para los calefactores a leña, al considerar todos los impactos económicos asociados a la implementación del MEPS, se tiene un efecto total que es positivo, con beneficios del orden de 923MM USD para el período 2022-2032, sin un costo asociado, ya que el precio de los calefactores del parque que si cumple con el MEPS es menor al precio del parque que no cumple. Esto implica que la ratio costo beneficio tiende a infinito, o bien no es aplicable su definición.
- En el caso de calefactores a pellets, el beneficio total es del orden de 32,5MMUSD para el mismo período 2022-2032, y tiene un costo asociado del orden de 6,9MMUSD. Esto significa que la ratio costo beneficio es de 4,6.
- Como conclusión final, se recomienda la implementación del MEPS tanto para calefactores de leña como de pellets a madera, debido a su impacto positivo en términos energéticos y económicos. Se recomienda estudiar en mayor detalle los factores de emisión de material particulado para los calefactores, de manera que estos puedan reflejar el aumento en eficiencia.

9. REFERENCIAS

- AIFBN. (s.f.). *Manual de educación ambiental*.
- ATS Energía (ex AETS Sudamérica); SDT-USACH. (diciembre de 2012). Definición de etiquetas para los próximos productos a incorporar al Programa Nacional de Etiquetado. *Informe Final*. Santiago, Chile: Desarrollado para la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.
- ATS Energía. (2015). Evaluación de medidas de eficiencia energética en artefactos: Impacto técnico económico para la implementación de estándares mínimos de eficiencia energética en acondicionadores de aire y propuesta de nuevos productos para ser etiquetados en EE. *Informe Final*. Santiago, Chile: Desarrollado para el Ministerio de Energía.
- Bafver, L. S., Leckner, B., Tullin, C., & Berntsen, M. (2011). Particle emissions from pellets stoves and modern and old-type wood stoves. *Biomass and Bioenergy* 35, 3648-3655.
- Boll Illerup, J., Lin, W., Nickelsen, J., Hvam Pedersen, V., Eskerod, B., Dam-Johansen, K., & Brun Hansen, B. (may de 2020). Performance of an automatically controlled wood stove: Thermal efficiency and carbon monoxide emissions. *Renewable Energy - Volume 151*, pages 640-647.
- Boso, A. A. (2018). Narrativas de resistencia al cambio energético sustentable: el caso de la calefacción y las cocinas a leña en las ciudades de Temuco y Padre Las Casas, Chile. *Riesgo, Gobernanza y conflictos socioambientales*. (pp.155-182), 155-182.
- Brewer, P. J. (2000). From Fireplace to Cookstove. *Technology and the domestic ideal in America*. Syracuse University Press.
- Briceño, S., Pizarro, R., & Schulz, P. (mayo de 2014). Análisis General del Impacto Económico y Social del Plan de Descontaminación de Temuco y Padre Las Casas por MP10 y MP2,5. Chile: Departamento de Economía Ambiental - Ministerio del Medio Ambiente.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. (2012). Code of practice for residential wood burning appliances. Canadá.
- CDT. (2012). Propuesta de medidas para el uso eficiente de la leña en la Región Metropolitana de Santiago. Chile.
- Circular, P. (2020). *Efecto covid 19 en el presupuesto del financiamiento de programas ambientales del MMA cae hasta en un 50%*. Obtenido de <https://www.paiscircular.cl/biodiversidad/efecto-covid-19-en-el-presupuesto-2021-financiamiento-de->
- CNE; Ministerio de Energía. (2019). Anuario estadístico de energía 2018. Santiago, Chile.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2010). Estudio de usos finales y curva de oferta de la conservación de la energía en el sector residencial. Chile.
- DIPRES. (2019). *Evaluación Programa de Recambio de Calefactores a Leña del Ministerio del Medio Ambiente*.
- DIPRES. (2020). *Proyecto ley de presupuestos para el año 2021 líneas programáticas MMA*.

- Ecomas. (s.f.). Obtenido de https://ecomas.cl/pellet/9-pellet-18-kg.html#/15-display-12_bolsas
- Ecomás. (12 de 2021). Obtenido de https://ecomas.cl/pellet/9-pellet-18-kg.html#/15-display-12_bolsas
- Equipment Energy Efficiency (E3). (mayo de 2021). Residential Space Heaters in Australia & New Zealand. *Product Profile*. Australia y Nueva Zelanda.
- European Environment Agency. (2019). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, NFR 1.A.4.a.I, NFR 1.A.4.b.I*.
- GLZ; Ministerio de Energía; Sylvae Consultores Ltda. (abril de 2020). Uso de Biomasa para Calefacción y Agua Caliente Sanitaria. *Índice de precios de calefactores, calderas y pellets comercializados en Chile, versión 2019*. Santiago, Chile: Preparado por encargo del Proyecto de Apoyo a la NAMA "Energías Renovables para el Autoconsumo" en Chile.
- Gobierno de Chile. (2015). *Política de uso de la leña y sus derivados para calefacción*. Santiago.
- GreenLabUC. (2012). *Valores Recomendados a Utilizar en la Realización de un AGIES que Incorpore un Análisis Costo Beneficio*. Santiago.
- IEA Bioenergy. (septiembre de 2018). *Advanced Test Methods for Firewood Stoves. Report on consequences of real-life operation on stove performance*.
- In-Data, CChC. (2019). *Usos de energía de los Hogares Chile 2018*. Chile.
- International Energy Agency. (2018). *Energy Policies Beyond IEA Countries*.
- Mahapatra K., G. L. (2009). Swedish homeowners' perceptions of inovative heating systems - results of three surveys. *ECEEE 2009 Summer Study - Act! Innovate! Deliver! Reducing Energy Demand Sustainably*, 1665-1674.
- Michael A. McNeil, V. E. (2007). *Methodology for the Policy Analysis Modeling System (PAMS)*.
- Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2021). *Precios sociales 2021*.
- Ministerio de Energía. (2020). *El Impacto del COVID-19 en Chile: Descarbonización Energética y Retiro de Centrales a Carbón en Chile*.
- Ministerio de Energía. (2020). *Estrategia de Transición Energética Residencial*.
- Ministerio de Energía. (2021). *Destacan avances del Proyecto de Ley de Biocombustibles Sólidos*. Obtenido de <https://energia.gob.cl/noticias/libertador-general-bernardo-ohiggins/destacan-avances-del-proyecto-de-ley-de-biocombustibles-solidos>
- Ministerio de Medio Ambiente. (2021). *Proyecto Presupuesto 2021 Ministerio de Medio Ambiente Partida 25*.
- Ministerio del Medio Ambiente. (diciembre de 2015). *Análisis General del Impacto Económico y Social del Anteproyecto del Plan de Prevención y Descontaminación de la Región Metropolitana*. Chile.
- Ministry for the Environment. (marzo de 2020). *Solid Fuel Burner Testing and Standards to be Considered Within Proposed Amendments to National Environmental Standards for Air Quality*. Nueva Zelanda.

- Nordic Ecolabelling. (19 de december de 2018). About Nordic Ecolabelled - Stoves, version 4.3. *Background to ecolabelling 11 june 2014 - 30 june 2022.*
- Nordic Ecolabelling. (26 de enero de 2021). Nordic Ecolabelling for Stoves. *Version 4.4 - 11 June 2014 - 31 December 2023.*
- Nordic Ecolabelling. (26 de enero de 2021). Stoves. *Background to ecolabelling . Version 4.4.*
- Norges vassdrags- og energidirektorat. (julio de 2021). Forslag til endring i økodesignforskriften og energimerkeforskriften for produkter. Noruega.
- Pinilla J. C., L. K. (2020). El Sector Forestal y la industria del pellet en Chile. *Programa I+D biomasa forestal y Energía Ciclo de Charlas de Transferencia.*
- Reyes, R. N. (2013). *Leña, energía renovable para la conservación de los bosques nativos de Chile.* Valdivia.
- SERNAC. (12 de 2021). *Donde comprar leña seca.* Obtenido de https://www.sernac.cl/portal/619/w3-propertyvalue-61528.html#recuadros_articulo_1505_group_pvid_66422
- Skreiberg, Ø., & Seljeskog, M. (2018). Performance history and further improvement potential for wood stoves. *Chemical Engineering Transactions*, vol. 65.
- Skreiberg, O., & Seljeskog, M. (2018). Performance history and further improvement potential for wood stoves. *Chemical Engineering Transactions*, 65, 199-204 DOI: 10.3303/CET1865034.
- Standard Norge. (julio de 2017). Muligheter for regelverkspåvirkning i EU gjennom standardiseringsarbeidet i CEN/CENELEC. *ARBEIDET I CEN MED MÅLEMETODE FOR PARTIKKEL UTSLIPP FRA OVNER FYRT MED FAST BRENSEL (VEDOVNER).*
- Universidad Católica de Temuco. (2015). *Estudio especializado para la elaboración de tabla de conversión de formatos de comercialización de leña y su equivalencia energética.* Temuco.
- Universidad Católica de Temuco. (2015). *Estudio especializado para la elaboración de tablas de conversión de formatos de comercialización de leña y su equivalencia energética.*

10. ANEXOS

10.1. ANEXO 1. CALEFACTORES QUE SE COMERCIALIZAN EN AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDA

Tabla 147. Características de los calefactores a combustibles sólidos que se comercializan en Nueva Zelanda

Fabricante	Artefacto	Tipo	Combustible	Calentador de agua	Emisiones (g/kg)	Eficiencia (%)
C H Faul & Company Limited	Froling PE1 Pellet 25	No empotrado	Pellets de madera	No	0,2	94
C H Faul & Company Limited	Froling PE1 Pellet 30	No empotrado	Pellets de madera	No	0,2	94
C H Faul & Company Limited	Froling PE1 Pellet 35	No empotrado	Pellets de madera	No	0,2	94
Eenergy Limited	Rika Domo Pellet Fire	No empotrado	Pellets de madera	No	0,3	89
Eenergy Limited	Mia Whisper	No empotrado	Pellets de madera	No	0,6	88
Pellet Fire Solutions Limited	Ravelli Camino	Empotrado	Pellets de madera	No	0,5	88
Pellet Fire Solutions Limited	Ravelli Monica	No empotrado	Pellets de madera	No	0,3	88
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Bay FS	No empotrado	Pellets de madera	No	0,6	88
Eenergy Limited	Rika Filo Pellet Fire	No empotrado	Pellets de madera	No	0,27	88
Eenergy Limited	Rika Como	No empotrado	Pellets de madera	No	0,2	87
Eenergy Limited	Rika Revo	No empotrado	Pellets de madera	No	0,2	87
Eenergy Limited	Rika Miro	No empotrado	Pellets de madera	No	0,37	87
Eenergy Limited	Rika Corso Pellet Fire	No empotrado	Pellets de madera	No	0,27	86
Eenergy Limited	Rika Topo	No empotrado	Pellets de madera	No	0,3	86
Eenergy Limited	Animo Adevo	No empotrado	Pellets de madera	No	0,18	86
Eenergy Limited	Rika Livo	No empotrado	Pellets de madera	No	0,41	86
Pellet Fire Solutions Limited	Ravelli Natural 7	No empotrado	Pellets de madera	No	0,26	86
Pellet Fire Solutions Limited	Ravelli Dual 7	No empotrado	Pellets de madera	No	0,19	86
Eenergy Limited	Rika Pico	No empotrado	Pellets de madera	No	0,3	85
Eenergy Limited	Rika Kapo	No empotrado	Pellets de madera	No	0,23	85
Spark Energy Limited	ETA SH30 Gasification Boiler	No empotrado	Leña seca	No	0,3	85
Spark Energy Limited	ETA SH40 Gasification Boiler	No empotrado	Leña seca	No	0,32	85
Central Heating New Zealand Limited	Woodpecker Pellet Boilers (20kW)	No empotrado	Pellets de madera	Yes	0,5	85

Fabricante	Artefacto	Tipo	Combustible	Calentador de agua	Emisiones (g/kg)	Eficiencia (%)
Central Heating New Zealand Limited	Woodpecker Pellet Boilers (30kW)	No empotrado	Pellets de madera	Yes	0,6	85
Energy Limited	RIKA Memo 9kW	No empotrado	Pellets de madera	No	0,3	85
Energy Limited	Rika Roco Pellet Fire	No empotrado	Pellets de madera	No	0,23	85
Energy Limited	Rika Sumo Pellet Fire	No empotrado	Pellets de madera	No	0,31	84
Pellet Fire Solutions Limited	Pompeii HRV 140 Touch	No empotrado	Pellets de madera	Yes	0,23	84
Energy Limited	Champion Duos Plus	No empotrado	Pellets de madera	No	0,44	84
Pellet Fire Solutions Limited	Ravelli Rosa R70	No empotrado	Pellets de madera	No	0,16	84
Energy Limited	Rika Interno	No empotrado	Pellets de madera	No	0,23	84
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Bay	Empotrado	Pellets de madera	No	0,5	83
Spark Energy Limited	ETA SH20 Gasification Boiler	No empotrado	Leña seca	No	0,36	83
Pellet Fire Solutions Limited	Ravelli Sara	Empotrado	Pellets de madera	No	0,4	82
Firemakers Limited	Parkwood Compact (damperless)	No empotrado	Pellets de madera	No	0,5	82
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Fusion Boiler	No empotrado	Leña seca	Yes	0,23	82
Firemakers Limited	Parkwood Maxi standard	No empotrado	Pellets de madera	No	0,6	82
Pellet Fire Solutions Limited	Ravelli Elena	No empotrado	Pellets de madera	No	0,4	81
Pellet Fire Solutions Limited	Ravelli Elena RV100	No empotrado	Pellets de madera	No	0,4	81
Spark Energy Limited	ETA PC 25	No empotrado	Pellets de madera	Yes	0,1	81
Energy Limited	Champion Ena Plus Pellet Fire	No empotrado	Pellets de madera	No	0,33	81
Spark Energy Limited	ETA PC 32	No empotrado	Pellets de madera	Yes	0,11	81
Pellet Fire Solutions Limited	Enviro EF3 Bayview FPI CB	Empotrado	Pellets de madera	No	0,4	81
Central Heating New Zealand Limited	Woodpecker Executive 25kW Pellet Fired Boiler	No empotrado	Pellets de madera	Yes	0,4	81
Spark Energy Limited	ETA PU 15	No empotrado	Pellets de madera	Yes	No testeado (*)	81
Black & Robinson Limited	Flumenfire Coralla	No empotrado	Pellets de madera	No	0,62	80
Black & Robinson Limited	Flumenfire Morgana	No empotrado	Pellets de madera	No	0,62	80
Eco Stove Ltd	Ursa 159	No empotrado	Leña seca	No	0,9	80
Black & Robinson Limited	Flumenfire Blenda	No empotrado	Pellets de madera	No	0,62	80
Pellet Fire Solutions Limited	Ravelli Sri Amalfi	No empotrado	Pellets de madera	No	0,5	80
Pellet Fire Solutions Limited	Enviro EF3 Bayview FS CB	No empotrado	Pellets de madera	No	0,5	80

Fabricante	Artefacto	Tipo	Combustible	Calentador de agua	Emisiones (g/kg)	Eficiencia (%)
Pellet Fire Solutions Limited	Enviro EF5 Evolution FS CB	No empotrado	Pellets de madera	No	0,3	80
ECO Flame Limited	Ecoflame FS-1	No empotrado	Pellets de madera	No	0,6	80
Pellet Fire Solutions Limited	Enviro Olympian FPI CB	Empotrado	Pellets de madera	No	0,5	80
ECO Flame Limited	Pellco Milford Pellet Fire	No empotrado	Pellets de madera	No	0,5	79
ECO Flame Limited	Sirocco Slimline Pellet Fire	No empotrado	Pellets de madera	No	0,5	79
Tropicair Heating Ltd	Tropicair Duo	No empotrado	Leña seca	No	0,1	79
Pellet Fire Solutions Limited	Enviro EF2 Classic FPI CB	Empotrado	Pellets de madera	No	0,4	79
Scandia Heating (NZ) Ltd	Scandia Verdant LE	No empotrado	Pellets de madera	No	0,8	79
Retail Links Limited	Jayline Walltherm Air	No empotrado	Leña seca	No	0,3	78
Spark Energy Limited	ETA PU 11	No empotrado	Pellets de madera	Yes	0,14	78
EnviroSolve Limited	T-SKY eco2	No empotrado	Leña seca	No	0,81	77
EnviroSolve Limited	T-ART eco2	No empotrado	Leña seca	No	0,81	77
Tropicair Heating Ltd	Tropicair Duo Wet	No empotrado	Leña seca	Yes	0,2	77
Firemakers Limited	Parkwood Compact standard	No empotrado	Pellets de madera	No	0,5	77
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Fusion	No empotrado	Leña seca	No	0,16	77
Glen Dimplex New Zealand Limited	Atlanta Bay	No empotrado	Leña seca	No	1,1	77
Firemakers Limited	Parkwood Insert standard	Empotrado	Pellets de madera	No	0,5	77
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Atlanta Bay	No empotrado	Leña seca	No	1,1	77
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport F2000	No empotrado	Leña seca	No	0,6	77
W H Harris Limited	Harris Ferva Saturn	No empotrado	Leña seca	No	0,2	76
Glen Dimplex New Zealand Limited	Storm 2	No empotrado	Pellets de madera	No	0,7	76
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Bronte Top Outlet AG	No empotrado	Leña seca	No	1	76
Retail Links Limited	Bosca Limit 380	No empotrado	Leña seca	No	0,9	76
Pellet Fire Solutions Limited	Enviro EF2 Classic FS CB	No empotrado	Pellets de madera	No	0,4	76
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Mystique	No empotrado	Leña seca	No	0,17	76
Glen Dimplex New Zealand Limited	Logaire Minos	No empotrado	Leña seca	No	1,2	76
Pellet Fire Solutions Limited	Enviro Olympian FS CB	No empotrado	Pellets de madera	No	0,4	76
Retail Links Limited	Jayline UL200	No empotrado	Leña seca	No	0,36	75
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Tiny Rad	No empotrado	Leña seca	No	0,9	75

Fabricante	Artefacto	Tipo	Combustible	Calentador de agua	Emisiones (g/kg)	Eficiencia (%)
W H Harris Limited	Woodsman Matai ECR MK IV	No empotrado	Leña seca	No	0,8	75
Pellet Fire Solutions Limited	Enviro Mini FS CB	No empotrado	Pellets de madera	No	0,4	75
Aber Holdings Ltd	GEO Midi Legs	No empotrado	Leña seca	No	1	74
Retail Links Limited	Fisher Hanmer	No empotrado	Leña seca	No	0,8	74
Hewitsons Ltd - Firenzo	Dante Urban	No empotrado	Leña seca	No	1,1	74
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Bay AG (with Athena or Forte fascia options)	Empotrado	Leña seca	No	1	74
Hewitsons Ltd - Firenzo	Lady Kitchener Urban	No empotrado	Leña seca	Yes	1,4	74
Retail Links Limited	Bosca Firepoint 360	No empotrado	Leña seca	No	0,9	74
Aber Holdings Ltd	GEO Midi Pedestal	No empotrado	Leña seca	No	1	74
Pyroclassic Fires Limited	Pyroclassic IV	No empotrado	Leña seca	No	0,3	74
ECO Flame Limited	Ecoflame FS-1	No empotrado	Pellets de madera	Yes	0,5	74
Aber Holdings Ltd	GEO Midi Woodbox	No empotrado	Leña seca	No	1	74
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Lady Kitchener AG08 - Dryback	No empotrado	Leña seca	No	0,5	73
Glen Dimplex New Zealand Limited	Logaire Talisman	No empotrado	Leña seca	No	1	73
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Talisman	No empotrado	Leña seca	No	1	73
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Contessa AG Clean Air	No empotrado	Leña seca	No	1	73
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport R5000L/R5000P (with fan)	No empotrado	Leña seca	No	0,7	73
The Fireplace Limited	Quadra-Fire Millennium 2100 ACC	No empotrado	Leña seca	No	0,6	72
ECO Flame Limited	Oriel Pellet Fire	No empotrado	Pellets de madera	No	0,5	72
Glen Dimplex New Zealand Limited	Osburn 1600	No empotrado	Leña seca	Yes	0,9	72
Lansdowne Resource Ltd	Ethos Phoenix	No empotrado	Leña seca	No	0,6	72
Retail Links Limited	Fisher Blenheim	No empotrado	Leña seca	No	1,3	72
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Cromwell	No empotrado	Leña seca	No	0,2	72
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport F3300C	No empotrado	Leña seca	No	0,5	72
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Euro Rad	No empotrado	Leña seca	No	0,7	72
Tropicair Heating Ltd	Tropicair Rimu 2000 MkIII	No empotrado	Leña seca	No	0,9	72
W H Harris Limited	Woodsman Flare	No empotrado	Leña seca	No	1	72
Warmington Industries Ltd	Lindis	No empotrado	Leña seca	No	1,2	72

Fabricante	Artefacto	Tipo	Combustible	Calentador de agua	Emisiones (g/kg)	Eficiencia (%)
Warmington Industries Ltd	Warmington Lewis	No empotrado	Leña seca	No	0,8	72
W H Harris Limited	Woodsman Matai ECR-165	No empotrado	Leña seca	No	0,8	72
EnviroSolve Limited	Bionic Fire Studio	No empotrado	Leña seca	No	0,7	72
EnviroSolve Limited	RAIS Bionic Fire	No empotrado	Leña seca	No	0,7	72
Lansdowne Resource Ltd	Ethos Genesis	No empotrado	Leña seca	No	0,6	72
C H Faul & Company Limited	Froling S4 Turbo 40	No empotrado	Leña seca	No	0,4	72
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport F2200C	No empotrado	Leña seca	No	0,8	71
Pellet Fire Solutions Limited	Heatilator ECO-ADV-PS35	No empotrado	Pellets de madera	No	0,4	71
Energy Limited	Champion Ena	No empotrado	Pellets de madera	No	0,63	71
The Fireplace Limited	Quadra-Fire Millennium 4300 ACC	No empotrado	Leña seca	No	0,4	71
W H Harris Limited	Woodsman Brunner Dry	No empotrado	Leña seca	No	0,5	71
Warmington Industries Ltd	Studio Stove-14	No empotrado	Leña seca	No	0,66	71
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Ambie One	No empotrado	Leña seca	No	1	71
W H Harris Limited	Woodsman Brunner Dry MK II	No empotrado	Leña seca	No	0,5	71
Dallas Metal Industries Ltd	Milan Milano C/A	No empotrado	Leña seca	No	0,9	71
Aber Holdings Ltd	Kent Signature CA	No empotrado	Leña seca	No	0,9	71
W H Harris Limited	Ferva Corsair	No empotrado	Leña seca	No	0,6	71
W H Harris Limited	Woodsman Tasman Dry	No empotrado	Leña seca	No	0,5	71
Pioneer Manufacturing Limited	Metro R1	No empotrado	Leña seca	No	0,64	71
W H Harris Limited	Woodsman Tasman Dry MK II	No empotrado	Leña seca	No	0,5	71
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport LE 2000 Series 2	No empotrado	Leña seca	No	0,7	71
W H Harris Limited	Kent Barker II Dry	No empotrado	Leña seca	No	0,5	71
W H Harris Limited	Kent Tui Rad Dry	No empotrado	Leña seca	No	0,7	71
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport R5000L/R5000P (without fan)	No empotrado	Leña seca	No	0,5	71
W H Harris Limited	Woodsman Matai ECR MK III	No empotrado	Leña seca	No	0,7	71
W H Harris Limited	Woodsman Aspen Dry	No empotrado	Leña seca	No	0,5	71
Aber Holdings Ltd	Kent Kiwi Rad Clean Air	No empotrado	Leña seca	No	1,2	70
W H Harris Limited	Woodsman Tarras	No empotrado	Leña seca	No	0,9	70

Fabricante	Artefacto	Tipo	Combustible	Calentador de agua	Emisiones (g/kg)	Eficiencia (%)
Dallas Metal Industries Ltd	Milan Caldo Rustic Harmony Clean Air	No empotrado	Leña seca	No	1,2	70
W H Harris Limited	Rika Visio (without circulation fan)	No empotrado	Pellets de madera	No	0,5	70
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Euro Ped (with direct vent)	No empotrado	Leña seca	No	0,65	70
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Wee Rad Base	No empotrado	Leña seca	No	0,62	70
Tropicair Heating Ltd	Tropicair Ardos	Empotrado	Leña seca	No	0,6	70
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Royale AG (with or without fan)	No empotrado	Leña seca	No	0,9	70
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Euro Trad (with direct vent)	No empotrado	Leña seca	No	0,65	70
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Wee Ped	No empotrado	Leña seca	No	0,62	70
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Wee Rad	No empotrado	Leña seca	No	0,9	70
Retail Links Limited	Jayline Spitfire Clean Air 2006	No empotrado	Leña seca	No	1,3	70
Pioneer Manufacturing Limited	etro R2	No empotrado	Leña seca	No	0,79	70
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Wee Rad Woody	No empotrado	Leña seca	No	0,62	70
Pioneer Manufacturing Limited	/metro Wee Rad	No empotrado	Leña seca	No	0,62	70
Crighton Engineering	Magnum Ardos	Empotrado	Leña seca	No	0,6	70
Fireplace Products Australia Pty Ltd	Vancouver F2402M	No empotrado	Leña seca	No	1,2	70
Warmington Industries Ltd	Warmington Studio Stove	No empotrado	Leña seca	No	1	70
Tropicair Heating Ltd	Tropicair Rua (LEB)	No empotrado	Leña seca	No	0,2	70
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Aspire (with direct vent)	No empotrado	Leña seca	No	0,7	70
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Toronto	No empotrado	Leña seca	No	0,9	70
Yunca Heating	Yunca Hobson (Sub 1.0)	No empotrado	Leña seca	No	1	70
Glen Dimplex New Zealand Limited	Osburn 1600 (dry)	No empotrado	Leña seca	No	0,7	70
Yunca Heating	Yunca Monte (CA Sub 1.0) with base	No empotrado	Leña seca	No	1	69
Aber Holdings Ltd	Kent Rata	Empotrado	Leña seca	No	0,5	69
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport F3000	No empotrado	Leña seca	No	0,6	69
Yunca Heating	Yunca Monte (CA Sub 1.0) with legs	No empotrado	Leña seca	No	1	69
W H Harris Limited	Woodsmen Tarras Dry MKIII	No empotrado	Leña seca	No	0,4	69

Fabricante	Artefacto	Tipo	Combustible	Calentador de agua	Emisiones (g/kg)	Eficiencia (%)
Aber Holdings Ltd	Kent Cardrona	No empotrado	Leña seca	No	0,8	69
Aber Holdings Ltd	Kent Logfire II	Empotrado	Leña seca	No	0,5	69
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport F3000	No empotrado	Leña seca	No	0,6	69
Aber Holdings Ltd	Kent Benmore	No empotrado	Leña seca	No	0,8	69
Retail Links Limited	Fisher Hanmer	No empotrado	Leña seca	Yes	0,9	69
Tropicair Heating Ltd	Tropicair Furno	Empotrado	Leña seca	No	0,6	69
Yunca Heating	Yunca Monte Euro (CA Sub 1.0)	No empotrado	Leña seca	No	1	69
W H Harris Limited	Woodsman Tarras MKII (without wetback)	No empotrado	Leña seca	No	0,4	69
Aber Holdings Ltd	Kent Oxford	No empotrado	Leña seca	No	0,8	69
Pellet Fire Solutions Limited	Blaze King Sirocco SC30P.NZ	No empotrado	Leña seca	No	0,3	69
Aber Holdings Ltd	Kent Quantum Max Clean Air	No empotrado	Leña seca	No	0,5	69
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Grandview Series 3	No empotrado	Leña seca	No	0,7	69
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Ambie Plus (without wetback)	No empotrado	Leña seca	No	0,4	69
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Xtreme Ped (with direct vent)	No empotrado	Leña seca	No	0,9	69
Aber Holdings Ltd	GEO Compact Pedestal	No empotrado	Leña seca	No	0,8	69
Pellet Fire Solutions Limited	Blaze King Sirocco SC30L.NZ	No empotrado	Leña seca	No	0,3	69
Aber Holdings Ltd	GEO Compact Woodbox	No empotrado	Leña seca	No	0,8	69
Aber Holdings Ltd	Kent Tile Fire Max CA II	No empotrado	Leña seca	No	0,5	69
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Mega Smart	Empotrado	Leña seca	No	0,7	69
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Xtreme Rad (Wetback)	No empotrado	Leña seca	Yes	0,9	69
Aber Holdings Ltd	GEO Compact Legs	No empotrado	Leña seca	No	0,8	69
W H Harris Limited	Jayline Starfire IS	Empotrado	Leña seca	No	0,9	69
Pellet Fire Solutions Limited	Blaze King Chinook CK30.NZ	No empotrado	Leña seca	No	0,3	69
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport R1500L/R1500P/R1500 Wood Stacker	No empotrado	Leña seca	No	0,9	69
Retail Links Limited	Jayline SS280L/SS280P	No empotrado	Leña seca	No	0,7	69
W H Harris Limited	Woodsman Matai ECR eco	No empotrado	Leña seca	No	0,5	69
Pellet Fire Solutions Limited	Blaze King Sirocco SC20L.NZ	No empotrado	Leña seca	No	0,64	69

Fabricante	Artefacto	Tipo	Combustible	Calentador de agua	Emisiones (g/kg)	Eficiencia (%)
Retail Links Limited	Bosca Spirit 550	No empotrado	Leña seca	No	0,9	69
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport R1600	No empotrado	Leña seca	No	0,9	69
Pellet Fire Solutions Limited	Blaze King Sirocco SC20P.NZ	No empotrado	Leña seca	No	0,64	69
Crighton Engineering	Magnum Furno	Empotrado	Leña seca	No	0,6	69
Pellet Fire Solutions Limited	Blaze King Chinook CK20.NZ	No empotrado	Leña seca	No	0,71	69
Aber Holdings Ltd	Kent Kea Rad II	No empotrado	Leña seca	No	0,8	69
Pecan Engineering Pty Limited	Nectre N65	No empotrado	Leña seca	No	0,9	69
Aber Holdings Ltd	Kent Kiwi Rad II	No empotrado	Leña seca	No	0,7	69
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Forte Flush AG08	Empotrado	Leña seca	No	0,9	69
W H Harris Limited	Woodsman Regent	Empotrado	Leña seca	No	0,9	69
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Wee Curve	No empotrado	Leña seca	No	0,6	68
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Rad (with direct vent)	No empotrado	Leña seca	No	0,9	68
Glen Dimplex New Zealand Limited	Logaire Minos 2 Clean Air	No empotrado	Leña seca	No	0,6	68
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Lady Kitchener AG10-WB	No empotrado	Leña seca	Yes	0,7	68
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport I3000	Empotrado	Leña seca	No	0,4	68
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Viking AG (Dryback)	No empotrado	Leña seca	No	0,9	68
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Minos 2 Clean Air	No empotrado	Leña seca	No	0,6	68
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Bannockburn I2000	Empotrado	Leña seca	No	0,4	68
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Tarawera	No empotrado	Leña seca	No	0,6	68
W H Harris Limited	Woodsman Flare	No empotrado	Leña seca	Yes	0,9	68
Wagener Stoves (Lion) Limited	Wagener Sparky CA	No empotrado	Leña seca	No	0,55	68
Yunca Heating	Yunca Tommi (CA Sub 0.6)	No empotrado	Leña seca	No	0,56	68
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Smart (Dryback)	Empotrado	Leña seca	No	0,5	68
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Xtreme Rad (with direct vent)	No empotrado	Leña seca	No	0,9	68
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Mackenzie R10000	No empotrado	Leña seca	No	0,9	68
C H Faul & Company Limited	Froling S4 Turbo 22	No empotrado	Leña seca	No	0,32	68
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Encore AG Dry	No empotrado	Leña seca	No	0,7	68
C H Faul & Company Limited	Froling S4 Turbo 28	No empotrado	Leña seca	No	0,4	68

Fabricante	Artefacto	Tipo	Combustible	Calentador de agua	Emisiones (g/kg)	Eficiencia (%)
Crighton Engineering	Magnum P100	No empotrado	Leña seca	No	1,1	68
C H Faul & Company Limited	Froling S4 Turbo 38	No empotrado	Leña seca	No	0,4	68
Pyroclassic Fires Limited	Pyroclassic Mini - Wetback	No empotrado	Leña seca	Yes	0,33	68
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Verona	No empotrado	Leña seca	No	0,8	68
Retrospective Design Ltd	Xeoos Twinfire X8	No empotrado	Leña seca	No	0,98	68
Fireplace Products Australia Pty Ltd	Regency Montrose	Empotrado	Leña seca	No	0,6	68
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Rangitata Beveled	Empotrado	Leña seca	No	0,41	68
Retail Links Limited	Jayline SS280PW	No empotrado	Leña seca	Yes	0,89	68
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Ultra Tiny Rad	No empotrado	Leña seca	No	0,43	68
Dallas Metal Industries Ltd	Milan Caldo C/A	No empotrado	Leña seca	No	0,7	67
Glen Dimplex New Zealand Limited	Osburn 1600 MK II WET	No empotrado	Leña seca	Yes	0,7	67
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Kompact AG	Empotrado	Leña seca	No	0,9	67
W H Harris Limited	Woodsmen Boston	No empotrado	Leña seca	No	0,8	67
Escea Ltd	Escea, Spartherm ES1-P7S	No empotrado	Leña seca	No	0,79	67
Dallas Metal Industries Ltd	Milan Harmony I/B C/A Harmony Series	Empotrado	Leña seca	No	1,2	67
Hewitsons Ltd - Firenzo	Contessa Urban	No empotrado	Leña seca	No	1	67
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Wee Rad Base	No empotrado	Leña seca	Yes	0,7	67
Warmington Industries Ltd	Studio Stove-14	No empotrado	Leña seca	Yes	0,55	67
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Ultra Xtreme Rad	No empotrado	Leña seca	No	0,39	67
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Ambie Plus (with wetback)	No empotrado	Leña seca	Yes	0,5	67
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport LE 4000 Provincial	Empotrado	Leña seca	No	0,6	67
Dallas Metal Industries Ltd	Milan Piccolo C/A Harmony Series	No empotrado	Leña seca	No	0,7	67
Hewitsons Ltd - Firenzo	Deco Urban SD	Empotrado	Leña seca	No	1,3	67
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Viking AG (Wetback)	No empotrado	Leña seca	Yes	0,9	67
Yunca Heating	Yunca Wegj 2000 (Sub 1.0)	No empotrado	Leña seca	No	0,8	67
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Wee Ped	No empotrado	Leña seca	Yes	0,7	67
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Xtreme Ped (Wetback)	No empotrado	Leña seca	Yes	1	67

Fabricante	Artefacto	Tipo	Combustible	Calentador de agua	Emisiones (g/kg)	Eficiencia (%)
W H Harris Limited	Jayline I S500	Empotrado	Leña seca	No	0,9	67
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Akaroa Wood Stacker	No empotrado	Leña seca	No	0,7	67
W H Harris Limited	Woodsman Manhattan	No empotrado	Leña seca	No	0,8	67
Hewitsons Ltd - Firenzo	Plaza Urban SD	Empotrado	Leña seca	No	1,3	67
W H Harris Limited	Woodsman ECR NoVo	No empotrado	Leña seca	No	0,9	67
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Akaroa	No empotrado	Leña seca	No	0,69	67
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Smart (Wetback)	Empotrado	Leña seca	Yes	0,8	67
Yunca Heating	Yunca Oscar (CA Sub 0.5)	No empotrado	Leña seca	No	0,5	67
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Wee Rad Woody - Wet	No empotrado	Leña seca	Yes	0,7	67
Aber Holdings Ltd	Kent Astron CA	No empotrado	Leña seca	No	0,7	67
Lansdowne Resource Ltd	Ethos Ares (with flue shield)	Empotrado	Leña seca	No	0,3	67
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Wee Rad (Wetback)	No empotrado	Leña seca	Yes	0,7	67
W H Harris Limited	Kent Logfire Supreme	Empotrado	Leña seca	No	0,9	67
W H Harris Limited	Woodsman Totara	Empotrado	Leña seca	No	0,9	67
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport LE 3000 Series 3	No empotrado	Leña seca	No	0,8	67
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Xtreme Rad Woody	No empotrado	Leña seca	No	0,64	67
C H Faul & Company Limited	Froling S4 Turbo 15	No empotrado	Leña seca	No	0,26	67
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Lady Kitchener Ultra (Leg)	No empotrado	Leña seca	No	0,73	67
Aber Holdings Ltd	Kent Firenze CA	No empotrado	Leña seca	No	0,7	67
Lansdowne Resource Ltd	Ethos Ares (without flue shield)	Empotrado	Leña seca	No	0,3	67
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Xtreme Ped	No empotrado	Leña seca	No	0,64	67
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Xtreme Rad Woody; Wet	No empotrado	Leña seca	Yes	0,7	67
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Lady Kitchener Ultra (Pedestal)	No empotrado	Leña seca	No	0,73	67
Lansdowne Resource Ltd	Ethos Ares Deluxe	Empotrado	Leña seca	No	0,3	67
Retail Links Limited	Jayline SS600L/SS600P	No empotrado	Leña seca	No	0,6	67
Yunca Heating	Yunca Fitzroy (Sub 1.0)	No empotrado	Leña seca	No	0,9	67
Yunca Heating	Yunca Oscar CA 1.1	No empotrado	Leña seca	No	1,1	67

Fabricante	Artefacto	Tipo	Combustible	Calentador de agua	Emisiones (g/kg)	Eficiencia (%)
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Lady Kitchener Ultra (Drawer)	No empotrado	Leña seca	No	0,73	67
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Tiny Rad	No empotrado	Leña seca	Yes	0,9	67
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Xtreme Rad	No empotrado	Leña seca	No	0,64	67
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Classic Rad	No empotrado	Leña seca	No	0,63	67
Scandia Heating (NZ) Ltd	Scandia Warmbrite 140LE	No empotrado	Leña seca	No	0,7	67
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Lady Kitchener Ultra (Platform)	No empotrado	Leña seca	No	0,73	67
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Classic Rad	No empotrado	Leña seca	Yes	0,6	67
Escea Ltd	Spartherm Varia ASH-P8	Empotrado	Leña seca	No	0,99	67
Escea Ltd	Spartherm Varia AS-P8	Empotrado	Leña seca	No	0,99	67
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Wee Rad Ultra	No empotrado	Leña seca	No	0,35	67
Esse Engineering Ltd.	Esse Bakeheart	No empotrado	Leña seca	No	0,63	67
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Vision	No empotrado	Leña seca	No	0,3	66
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Wee Rad V2	No empotrado	Leña seca	No	0,43	66
Escea Ltd	Spartherm Varia 2L 80h-P7	Empotrado	Leña seca	No	0,96	66
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport R1200 LEG	No empotrado	Leña seca	No	0,49	66
W H Harris Limited	Woodsman Coleridge Pedestal	No empotrado	Leña seca	No	0,49	66
Yunca Heating	Yunca Monte Eur (CA Sub 0.7)	No empotrado	Leña seca	No	0,7	66
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Euro Ped (without direct vent)	No empotrado	Leña seca	No	1	66
Escea Ltd	Spartherm Varia 2R 80h-P7	Empotrado	Leña seca	No	0,96	66
Scandia Heating (NZ) Ltd	Scandia Warmbrite 300LE-ST	No empotrado	Leña seca	No	0,9	66
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport R1200 PED	No empotrado	Leña seca	No	0,49	66
W H Harris Limited	Woodsman Coleridge Leg	No empotrado	Leña seca	No	0,49	66
Aber Holdings Ltd	Kent Logfire Max	Empotrado	Leña seca	No	1,2	66
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport F3300C	No empotrado	Leña seca	Yes	0,5	66
Escea Ltd	Spartherm Varia A-FDh-P8	Empotrado	Leña seca	No	1,41	66
Scandia Heating (NZ) Ltd	Scandia Warmbrite 300LE	No empotrado	Leña seca	No	0,9	66

Fabricante	Artefacto	Tipo	Combustible	Calentador de agua	Emisiones (g/kg)	Eficiencia (%)
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport R3000ASH	No empotrado	Leña seca	No	0,36	66
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Rakaiā	No empotrado	Leña seca	No	0,42	66
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Topaz	Empotrado	Leña seca	No	0,98	66
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Euro Trad (without direct vent)	No empotrado	Leña seca	No	1	66
Yunca Heating	Yunca Monte Base Wet Sub 1.0	No empotrado	Leña seca	Yes	1	66
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport R3000WS	No empotrado	Leña seca	No	0,36	66
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Napier	No empotrado	Leña seca	No	0,97	66
W H Harris Limited	Woodsman Serene Petite (LEB)	No empotrado	Leña seca	No	0,35	66
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Athena Aqualux AG	Empotrado	Leña seca	Yes	1	66
Yunca Heating	Yunca Monte Euro Wet Sub 1.0	No empotrado	Leña seca	Yes	1	66
W H Harris Limited	Woodsman Serene	No empotrado	Leña seca	No	0,36	66
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport I3000 Wetback	Empotrado	Leña seca	Yes	0,8	66
Retail Links Limited	Jayline IS550	Empotrado	Leña seca	No	0,7	66
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Bannockburn I2000	Empotrado	Leña seca	Yes	0,8	66
Yunca Heating	Yunca Monte Leg Wet Sub 1.0	No empotrado	Leña seca	Yes	1	66
Aber Holdings Ltd	Kent Haast	No empotrado	Leña seca	No	1	66
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport I5000	Empotrado	Leña seca	No	0,7	66
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Mega Smart (Wetback)	Empotrado	Leña seca	Yes	0,6	66
Glen Dimplex New Zealand Limited	Hestia 2 Clean Air	No empotrado	Leña seca	No	0,6	66
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport R5000L, R5000P, R5000WS<	No empotrado	Leña seca	Yes	0,6	66
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Waimakariri PED (LEB)	No empotrado	Leña seca	No	0,34	66
Aber Holdings Ltd	Kent Aspiring	No empotrado	Leña seca	No	1	66
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Ultra Insert	Empotrado	Leña seca	No	0,42	66
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Waimakariri ASH (LEB)	No empotrado	Leña seca	No	0,34	66
Aber Holdings Ltd	Kent Murchison	No empotrado	Leña seca	No	1	66
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Contessa AG - Clean Air	No empotrado	Leña seca	Yes	0,9	66
Lansdowne Resource Ltd	Ethos Aquos FS100W	No empotrado	Leña seca	Yes	0,6	66
Warmington Industries Ltd	Tasman Series 46L	No empotrado	Leña seca	No	0,9	66

Fabricante	Artefacto	Tipo	Combustible	Calentador de agua	Emisiones (g/kg)	Eficiencia (%)
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport R3000 Ped	No empotrado	Leña seca	No	0,36	66
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Waimakariri LEG (LEB)	No empotrado	Leña seca	No	0,34	66
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport R3000 Leg	No empotrado	Leña seca	No	0,36	66
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Contessa AGIO WET	No empotrado	Leña seca	Yes	1	66
W H Harris Limited	Woodsman Serene WB	No empotrado	Leña seca	Yes	0,37	66
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Xtreme Ped	No empotrado	Leña seca	Yes	0,6	66
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Mega Rad	No empotrado	Leña seca	Yes	0,67	66
Pyroclassic Fires Limited	Pyroclassic Mini	No empotrado	Leña seca	No	0,28	66
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Encore Urban Wet	No empotrado	Leña seca	Yes	1,5	66
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Aspire (without direct vent)	No empotrado	Leña seca	No	1	66
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Mega Rad	No empotrado	Leña seca	No	0,66	66
Aber Holdings Ltd	Kent Ruapehu	No empotrado	Leña seca	No	0,54	66
Aber Holdings Ltd	Kent Forbes KWF295-6964	No empotrado	Leña seca	No	0,98	66
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Forte Aqualux AG	Empotrado	Leña seca	Yes	1	66
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Xtreme Rad (Wetback)	No empotrado	Leña seca	Yes	0,64	66
Yunca Heating	Yunca Monte (CA Sub 0.7) with base	No empotrado	Leña seca	No	0,7	66
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Tiny Rad Woody (dry)	No empotrado	Leña seca	No	0,62	66
Scandia Heating (NZ) Ltd	Scandia Edge 50LE	No empotrado	Leña seca	No	1	66
Stovax Limited	Riva Studio 2	Empotrado	Leña seca	No	1	66
Yunca Heating	Yunca Monte (CA Sub 0.7) with legs	No empotrado	Leña seca	No	0,7	66
W H Harris Limited	Woodsman Blaze	No empotrado	Leña seca	No	0,7	66
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Tiny Rad Woody (wet)	No empotrado	Leña seca	Yes	0,64	66
Pyroclassic Fires Limited	Pyroclassic IV	No empotrado	Leña seca	Yes	0,3	65
Escea Ltd	Spartherm Varia Bh-P7	Empotrado	Leña seca	No	0,92	65
Scandia Heating (NZ) Ltd	Scandia Warmbrite 200LE-ST	No empotrado	Leña seca	No	0,5	65
Scandia Heating (NZ) Ltd	Scandia Warmbrite 200LE	No empotrado	Leña seca	No	0,5	65

Fabricante	Artefacto	Tipo	Combustible	Calentador de agua	Emisiones (g/kg)	Eficiencia (%)
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Wee Rad (Wetback)	No empotrado	Leña seca	Yes	1	65
W H Harris Limited	Woodsman Tarras MKII (with wetback)	No empotrado	Leña seca	Yes	0,5	65
W H Harris Limited	Woodsman Brunner Wetback	No empotrado	Leña seca	Yes	0,5	65
W H Harris Limited	Woodsman Brunner Wetback MK II	No empotrado	Leña seca	Yes	0,5	65
W H Harris Limited	Woodsman Tarras-WB	No empotrado	Leña seca	Yes	1	65
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Kronos Clean Air	No empotrado	Leña seca	No	0,7	65
W H Harris Limited	Woodsman Tarras Wetback MKIII	No empotrado	Leña seca	Yes	0,5	65
Retail Links Limited	Jayline FR300W	No empotrado	Leña seca	Yes	0,66	65
The Fireplace Limited	Stuv 30-Compact ONE	No empotrado	Leña seca	No	0,32	65
Tropicair Heating Ltd	Tropicair Tawa MkIII (with flue shield)	Empotrado	Leña seca	No	0,6	65
Retail Links Limited	Jayline FR300	No empotrado	Leña seca	No	0,7	65
Spark Energy Limited	ETA PC 20	No empotrado	Pellets de madera	Yes	1	65
Retail Links Limited	Jayline FR400	No empotrado	Leña seca	No	0,69	65
Warmington Industries Ltd	McKenzie	No empotrado	Leña seca	No	1,5	65
W H Harris Limited	Woodsman Tasman Wetback	No empotrado	Leña seca	Yes	0,5	65
Glen Dimplex New Zealand Limited	Kronos Clean Air	No empotrado	Leña seca	No	0,7	65
W H Harris Limited	Kent Barker II Wetback	No empotrado	Leña seca	Yes	0,5	65
W H Harris Limited	Woodsman Tasman Wetback MK II	No empotrado	Leña seca	Yes	0,5	65
Retail Links Limited	Jayline SS300P	No empotrado	Leña seca	No	0,8	65
Crighton Engineering	Jayline CS600	No empotrado	Leña seca	No	1,1	65
W H Harris Limited	Woodsman ECR NoVo	No empotrado	Leña seca	Yes	0,9	65
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Mackenzie R10000	No empotrado	Leña seca	Yes	0,8	65
Aber Holdings Ltd	Kent Geneva Max	No empotrado	Leña seca	No	1,1	65
W H Harris Limited	Kent Tui Rad Wetback	No empotrado	Leña seca	Yes	0,7	65
Retail Links Limited	Jayline SS200L	No empotrado	Leña seca	No	0,8	65
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Wanaka	No empotrado	Leña seca	No	0,7	65
Yunca Heating	Yunca Xander Insert (c.a. Sub 1.0)	Empotrado	Leña seca	No	1	65
Glen Dimplex New Zealand Limited	Masport Heartland	No empotrado	Leña seca	No	0,7	65
Crighton Engineering	Magnum P300	No empotrado	Leña seca	No	1,1	65

Fabricante	Artefacto	Tipo	Combustible	Calentador de agua	Emisiones (g/kg)	Eficiencia (%)
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Trad	Empotrado	Leña seca	No	0,9	65
W H Harris Limited	Woodsman Aspen Wetback	No empotrado	Leña seca	Yes	0,5	65
W H Harris Limited	Woodsman Matai ECR MK V	No empotrado	Leña seca	Yes	0,7	65
Esse Engineering Ltd.	Esse Warmheart	No empotrado	Leña seca	No	0,6	65
Dallas Metal Industries Ltd	Milan Ar'dore C/A	No empotrado	Leña seca	No	0,9	65
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Trend	Empotrado	Leña seca	No	0,9	65
Lansdowne Resource Ltd	Ethos Hera	No empotrado	Leña seca	No	No testeado (*)	No testeado (*)
W H Harris Limited	Rika Premio (without circulation fan)	No empotrado	Pellets de madera	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Wee Ped (Wetback)	No empotrado	Leña seca	Yes	No testeado (*)	No testeado (*)
ECO Flame Limited	Oriel Pellet Fire	Empotrado	Pellets de madera	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Wee Trad (Wetback)	No empotrado	Leña seca	Yes	No testeado (*)	No testeado (*)
ECO Flame Limited	Pellco Milford Pellet Fire	Empotrado	Pellets de madera	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Retail Links Limited	Jayline Classic CA	No empotrado	Leña seca	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Tropicair Heating Ltd	Tropicair Kowhai 2000 MkIII	No empotrado	Leña seca	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Retail Links Limited	Jayline CS400	No empotrado	Leña seca	No	No testeado (*)	No testeado (*)
ECO Flame Limited	Sirocco Slimline Pellet Fire	Empotrado	Pellets de madera	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Pellet Fire Solutions Limited	Ecotek Monica Plus	No empotrado	Pellets de madera	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Wee Ped	No empotrado	Leña seca	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Eco Stove Ltd	Ursa Minor 135	No empotrado	Leña seca	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Hewitsons Ltd - Firenzo	Firenzo Athena Flush AG08	Empotrado	Leña seca	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Hewitsons Ltd - Firenzo	Lady Kitchener Urban	No empotrado	Leña seca	No	No testeado (*)	No testeado (*)

Fabricante	Artefacto	Tipo	Combustible	Calentador de agua	Emissiones (g/kg)	Eficiencia (%)
Ecomax Co NZ Limited	Ecomax Wood Pellet Boiler	No empotrado	Pellets de madera	Yes	No testeado (*)	No testeado (*)
Eco Stove Ltd	Ursa Minor 159	No empotrado	Leña seca	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Wee Trad	No empotrado	Leña seca	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Retail Links Limited	Jayline SS200	No empotrado	Leña seca	No	No testeado (*)	No testeado (*)
W H Harris Limited	Woodsmán Matai DLX 165	No empotrado	Leña seca	No	No testeado (*)	No testeado (*)
McKenzie Heating Design	ECO Boiler Pellet Fired Central Heater	No empotrado	Pellets de madera	Yes	No testeado (*)	No testeado (*)
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Tiny Ped	No empotrado	Leña seca	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Retail Links Limited	Jayline SS300	No empotrado	Leña seca	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Spark Energy Limited	ETA PE15	No empotrado	Pellets de madera	Yes	No testeado (*)	No testeado (*)
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Tiny Ped	No empotrado	Leña seca	Yes	No testeado (*)	No testeado (*)
Retail Links Limited	Jayline SS400	No empotrado	Leña seca	No	No testeado (*)	No testeado (*)
W H Harris Limited	Woodsmán Matai ECR MK II	No empotrado	Leña seca	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Spark Energy Limited	ETA PE25	No empotrado	Pellets de madera	Yes	No testeado (*)	No testeado (*)
W H Harris Limited	Woodsmán Matai DVI-165 Standard	Empotrado	Leña seca	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Firemakers Limited	Parkwood Insert (damperless)	Empotrado	Pellets de madera	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Lansdowne Resource Ltd	Ethos Asteria	No empotrado	Leña seca	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Retrospective Design Ltd	La Nodica Italy Termo DSA	No empotrado	Leña seca	Yes	No testeado (*)	No testeado (*)
Aber Holdings Ltd	Kent Kea Rad CA	No empotrado	Leña seca	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Retrospective Design Ltd	La Nodica Termo Suprema Compact DSA	No empotrado	Leña seca	Yes	No testeado (*)	No testeado (*)
Firemakers Limited	Parkwood Maxi (damperless)	No empotrado	Pellets de madera	No	No testeado (*)	No testeado (*)

Fabricante	Artefacto	Tipo	Combustible	Calentador de agua	Emisiones (g/kg)	Eficiencia (%)
The BBQ Factory Limited	Kent Bayview FPI	Empotrado	Pellets de madera	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Pioneer Pedestal	No empotrado	Leña seca	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Lansdowne Resource Ltd	Ethos Helios	No empotrado	Leña seca	No	No testeado (*)	No testeado (*)
The BBQ Factory Limited	Kent Bayview FS	No empotrado	Pellets de madera	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Pioneer Manufacturing Limited	Metro Eco Pioneer Traditional	No empotrado	Leña seca	No	No testeado (*)	No testeado (*)
Roaring Meg Fires Limited	Roaring Meg Eco (LEB)	No empotrado	Leña blanda	No	0,5	67
Hewitsons Limited	Firenzo Topaz	No empotrado	Leña blanda	No	0,98	66

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, Nueva Zelanda⁹⁷

⁹⁷ <https://environment.govt.nz/guides/authorised-wood-burners/>

10.2. ANEXO 2: CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE BIOMASA EN CHILE DESDE PERSPECTIVA DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Los Planes de Prevención y/o Descontaminación Atmosférica (PPDA), son instrumentos de gestión ambiental que, a través de la definición e implementación de medidas y acciones específicas, tiene por finalidad reducir los niveles de contaminación del aire, con el objeto de resguardar la salud de la población.⁹⁸

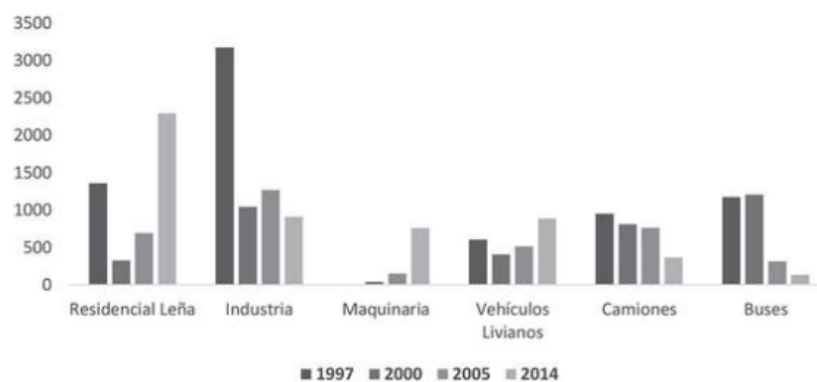
Existen PPDA para las regiones de Antofagasta, de Atacama, de Coquimbo y de Valparaíso, que no se relacionan con calefacción residencial. A continuación, se detalla la línea base establecida para comunas desde la Región Metropolitana al sur.

10.2.1. REGIÓN METROPOLITANA

El Decreto 31 de 2016, del Ministerio del Medio Ambiente⁹⁹, entrega los antecedentes normativos, la línea base y las acciones establecidas para ser implementadas en la región, considerando control de emisiones asociadas a fuentes móviles, quemas, fuentes fijas, polvo y "emisiones provenientes del uso de Leña, pellet de maderas y otros derivados de la madera"¹⁰⁰. A continuación, se especifica la situación relativa a las emisiones asociadas a la leña y pellets de madera.

Las emisiones de MP2,5 asociadas a la quema de leña han aumentado desde 1997, aun cuando se evidenció una disminución importante entre el mencionado año y el 2000

Figura 79. Evolución de emisiones de MP2,5 en la Región Metropolitana, toneladas por año



Fuente: Decreto 31 de 2016, del Ministerio del Medio Ambiente

Sobre la evolución a través del año de las emisiones, se destaca que las de MP10 se mantienen prácticamente constantes a lo largo del año, mientras que las de MP2,5 tienen

⁹⁸ <https://ppda.mma.gob.cl/>

⁹⁹ Decreto 31, Santiago, 11 de octubre de 2016, Ministerio del Medio Ambiente. ESTABLECE PLAN DE PREVENCIÓN Y DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA LA REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO.

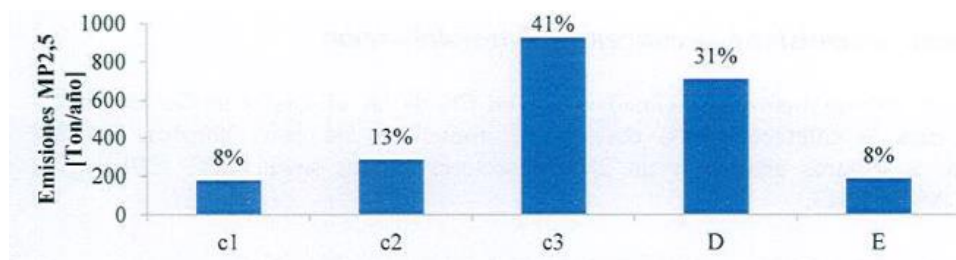
¹⁰⁰ <https://ppda.mma.gob.cl/region-metropolitana/ppda-region-metropolitana/>

una marcada estacionalidad, observándose un peak en el mes de junio, y entre los responsables de éstas, se destaca la combustión residencial de leña.

Las emisiones de MP asociadas al uso de leña residencial, al año 2015, ascendieron a 2.252 Ton/año de MP10 (38,45% de las emisiones totales de MP10) y 2.191 Ton/año de MP2,5 (38,53% de las emisiones totales de MP2,5).

La distribución por nivel socioeconómico de las emisiones asociadas a la leña, se obtienen del Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES), y se muestran a continuación:

Figura 80. Emisión de MP2,5 asociada al uso de leña, según NSE



Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente, 2015)

Respecto de la tenencia de artefactos, en (Ministerio del Medio Ambiente, 2015) se establece que el 6% de las viviendas utilizan combustibles sólidos para calefacción y/o cocción de alimentos. De estos hogares, el 72% corresponde a sectores urbanos y el resto al ámbito rural.

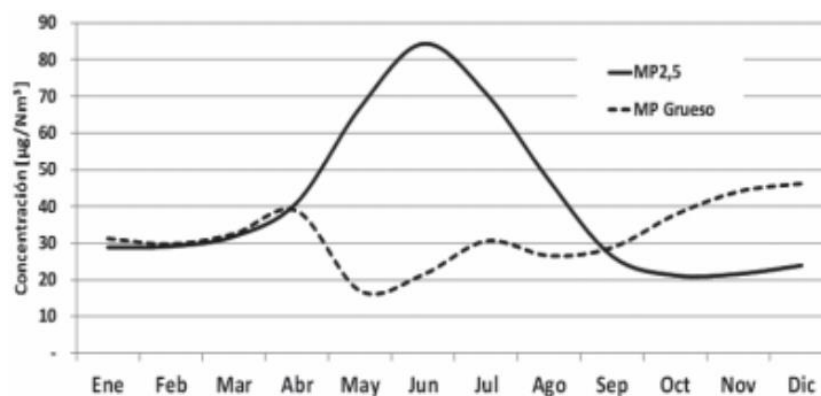
10.2.2. VALLE CENTRAL DE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS

El Decreto 15 de 2013, del Ministerio del Medio Ambiente¹⁰¹, entrega los antecedentes normativos, la línea base y las acciones establecidas para ser implementadas en la zona, considerando control de emisiones asociadas al uso de calderas industriales, calderas de calefacción, quemas agrícolas, combustión residencial de leña y derivados de la madera, y establecimientos industriales. A continuación, se especifica la situación relativa a las emisiones asociadas a la leña y pellets de madera.

Sobre la evolución a través del año de las emisiones, se destaca que las de MP grueso se mantienen prácticamente constantes a lo largo del año, mientras que las de MP2,5 tienen una marcada estacionalidad, observándose un peak en el mes de junio, indicando que: "La quema de biomasa, representada por el uso residencial de leña, quemas agrícolas e incendios forestales, aportan una proporción mayoritaria de las partículas emitidas directamente a la atmósfera". El detalle se presenta en la figura siguiente.

¹⁰¹ Decreto 15, Santiago, 2 de mayo de 2013, Ministerio del Medio Ambiente. ESTABLECE PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA EL VALLE CENTRAL DE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS.

Figura 81. Perfil anual de concentraciones ambientales de MP, Rancagua 2008-2009



Fuente: Decreto 15 de 2013, del Ministerio del Medio Ambiente

Las emisiones de MP asociadas al uso de leña residencial, al año 2008, ascendieron a 5.261 Ton/año de MP10 (34,77% de las emisiones totales de MP10) y 5.113 Ton/año de MP2,5 (37,31% de las emisiones totales de MP2,5).

10.2.3. TALCA Y MAULE

El Decreto 49 de 2015, del Ministerio del Medio Ambiente¹⁰², entrega los antecedentes normativos, la línea base y las acciones establecidas para ser implementadas en las comunas de Talca y Maule.

El consumo residencial de leña era al año 2012, según lo que se establece en el PPDA, responsable del 76,7% de las emisiones de MP10 y del 80,9% de las de MP2,5. A la misma fecha, se estimaba que el 50% de las viviendas se calefaccionaban con leña en Talca y un 61% en la comuna de Maule. El tipo de artefactos utilizado en ambas comunas, se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 148. Calefactores a combustibles sólidos, utilizados en viviendas de Talca y Maule, 2012

Tipo de artefacto	N° de artefactos en Talca	N° de artefactos en Maule
Chimenea hogar abierto	585	0
Salamandra	1.416	100
Cocina de hierro	2.431	0
Calefactor hechizo	1.139	100
Calefactor combustión lenta, cámara simple	4.801	306
Calefactor combustión lenta, cámara simple con templador	20.374	3.862
Total	30.746	4.368

Fuente: Decreto 49 de 2015, del Ministerio del Medio Ambiente

¹⁰² Decreto 49, Santiago, 28 de octubre de 2015, Ministerio del Medio Ambiente. ESTABLECE PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA LAS COMUNAS DE TALCA Y MAULE

Luego, las emisiones asociadas a la combustión residencial de leña se desglosan por artefacto y comuna en la tabla siguiente:

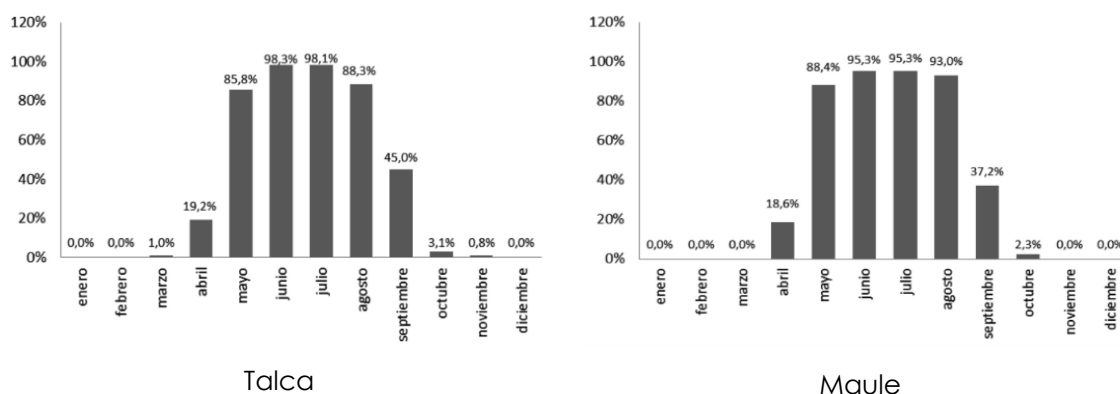
Tabla 149. Emisiones asociadas a la combustión de leña residencial en Talca y Maule, 2012

	Equipo/emisiones /ton/año	MP10	MP2,5	CO	NOx	COV	SOx	NH ₃
Talca	Salamandra	40,5	39,3	336,1	3,0	304,8	0,5	2,5
	Cámara simple + templador	485,1	472,3	4.419,3	46,1	1.014,8	6,6	36,2
	Cocina de fierro	80,5	78,0	577,2	5,1	523,3	0,8	4,3
	Cámara simple	210,0	204,1	1.041,4	10,9	239,1	1,6	8,5
	Chimenea	16,7	16,2	138,8	1,2	125,9	0,2	1,0
	Estufa de lata	32,6	31,6	270,3	2,4	245,1	0,4	2,0
	Horno de barro	0	0	0	0	0	0	0
	Otros	0	0	0	0	0	0	0
	Subtotal	865,4	841,6	6.783,1	68,6	2.453,0	9,9	54,7
Maule	Salamandra	2,8	2,7	23,5	0,2	21,3	0	0,2
	Cámara simple + templador	90,4	88,0	823,7	8,6	189,2	1,2	6,8
	Cocina de fierro	0	0	0	0	0	0	0
	Cámara simple	13,2	12,8	65,2	0,7	15,0	0,1	0,5
	Chimenea	0	0	0	0	0	0	0
	Estufa de lata	2,8	2,7	23,5	0,2	21,3	0	0,2
	Horno de barro	0	0	0	0	0	0	0
	Otros	0	0	0	0	0	0	0
	Subtotal	109,2	106,3	935,9	9,7	246,7	1,4	7,6
Total	974,6	947,9	7.719,0	78,3	2.699,6	11,3	62,3	

Fuente: Decreto 49 de 2015, del Ministerio del Medio Ambiente

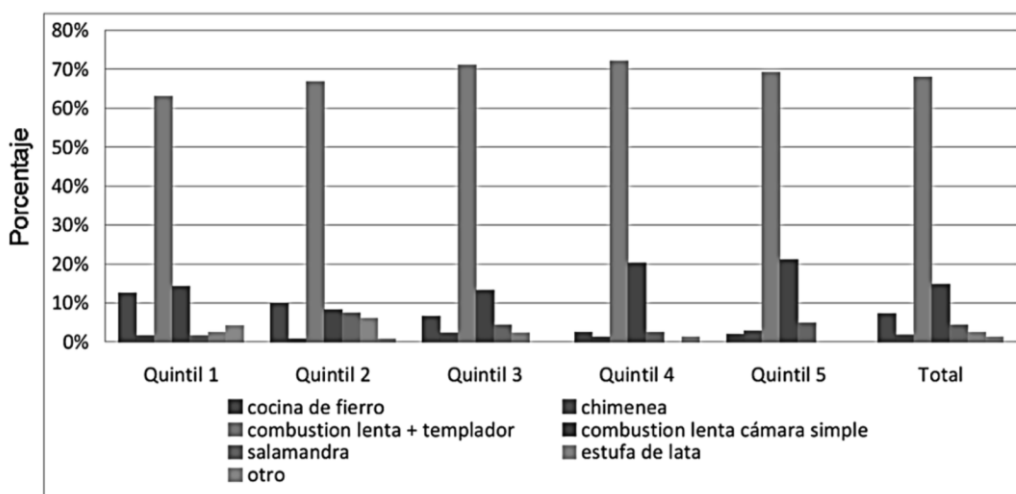
En el uso de leña, como los casos anteriormente descritos, se aprecia una marcada estacionalidad, que se expresa en el porcentaje de hogares de utilizan leña por mes, y que se muestra a continuación, para ambas comunas:

Figura 82. Meses de uso de calefactores a leña en Talca y Maule, año 2012



Fuente: Decreto 49 de 2015, del Ministerio del Medio Ambiente

Figura 83. Uso de calefactores por quintil de ingresos en Talca y Maule, 2012



Fuente: Decreto 49 de 2015, del Ministerio del Medio Ambiente

10.2.4. VALLE CENTRAL DE LA PROVINCIA DE CURICÓ

El Decreto 44 de 2017, del Ministerio del Medio Ambiente¹⁰³, entrega los antecedentes normativos, la línea base y las acciones establecidas para ser implementadas, que alcanza a las comunas de Curicó, Teno, Rauco, Romeral, Sagrada Familia y Molina, y “tiene por objetivo recuperar los niveles señalados en la norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable fino (MP2,5), en un plazo de 10 años”.

En el PPDA se da cuenta que la combustión residencial de leña fue responsable, al año 2014, de la emisión de 844 Ton/año de MP2,5, lo que corresponde al 61,1% de las emisiones totales en el territorio, desagregándose por comunas, según se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 150. Participación por comunas de las emisiones de MP2,5, año 2014

Comuna	MP2,5 (Ton/año)	%
Curicó	411,5	48,8
Molina	139,6	16,5
Rauco	32,6	3,9
Romeral	47,7	5,7
Sagrada Familia	68,4	8,1
Teno	143,8	17,0
Total	843,6	100,0

Fuente: Decreto 44 de 2017, del Ministerio del Medio Ambiente

Respecto del uso del combustible, se señala que “Los principales artefactos utilizados por las familias en las comunas de la zona saturada, corresponden a calefactores de

¹⁰³ Decreto 44, Santiago, 23 de octubre de 2017, Ministerio del Medio Ambiente. ESTABLECE PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA EL VALLE CENTRAL DE LA PROVINCIA DE CURICÓ.

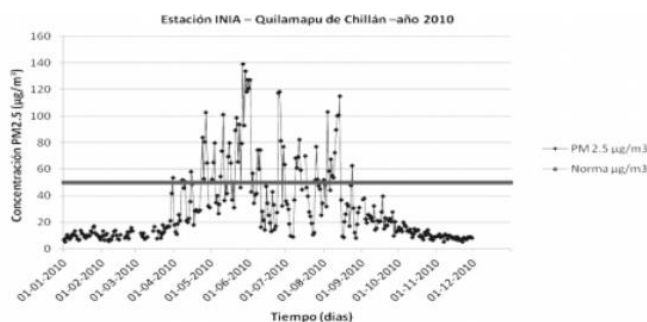
combustión lenta (63,4%) y salamandras (20,8%), y por lo tanto, el uso principal es para calefacción y en menor medida para cocinar”.

10.2.5. CHILLÁN Y CHILLÁN VIEJO

El Decreto 48 de 2015, del Ministerio del Medio Ambiente¹⁰⁴, entrega los antecedentes normativos, la línea base y las acciones establecidas para ser implementadas en la zona, para “dar cumplimiento a la norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable MP10 y a la norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable fino MP2,5, en un plazo de 10 años”. Cabe destacar que el plan considera 2 medidas estructurales, una de las cuales es la “sustitución de los actuales sistemas de calefacción contaminantes por sistemas eficientes y con menos emisiones, que permitirá reducir las emisiones a la atmósfera y también las intradomiciliarias”.

Respecto de las emisiones de MP2,5, éstas muestran una marcada estacionalidad, concentrándose su emisión en el periodo comprendido entre los meses de abril y septiembre, como se muestra en la figura siguiente:

Figura 84. Promedios diarios de MP2,5 en Chillán, año 2010



Fuente: Decreto 48 de 2015, del Ministerio del Medio Ambiente

Como en los otros planes de descontaminación revisados, se aprecia que la principal fuente de emisión de material particulado, corresponde a la combustión residencial, alcanzando el 86% de las emisiones de MP10 al año 2012, y 93% de MP2,5 al mismo año. Las emisiones totales de contaminantes atmosféricos por sector se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 151. Emisiones de contaminantes atmosféricos en Chillán y Chillán viejo, año 2012, toneladas por año

	MP10	MP2,5	SOx	NOx	NH ₃	CO
Residencial	4.696	4.562	32	195	0	52.077
Quemas e incendios forestales	213	191	0	3	0	66
Fuentes fijas	103	89	6.719	4.423	99	10.812
Móviles en ruta	385,1	75,5	20	574	12	2.784
Móviles fuera de ruta	-	-	2.715	408	0	12
Fugitivas	56,7	-	-	-	-	-

¹⁰⁴ Decreto 28, Santiago, 28 de octubre de 2015, Ministerio del Medio Ambiente. ESTABLECE PLAN DE PREVENCIÓN Y DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA LAS COMUNAS DE CHILLÁN Y CHILLÁN VIEJO.

Otras	-	-	325	12	367	4
Total	5.454	4.907	9.811	5.613	478	65.755

Fuente: Decreto 48 de 2015, del Ministerio del Medio Ambiente

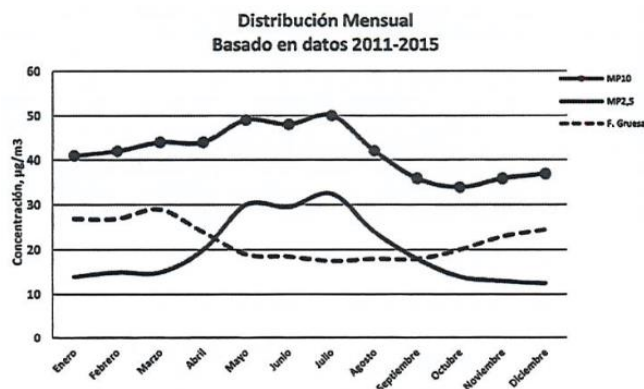
El uso de leña como combustible en las viviendas de Chillán y Chillán Viejo genera emisiones de MP2,5 que ascienden a 4.917 Ton/año, y 5.454 ton/año de MP10, ambos valores del año base 2012. Al mismo año, en Chillán y Chillán Viejo se reportaba un total de 43.650 calefactores y 5.526 cocinas, ambos a combustibles sólidos.

10.2.6. CONCEPCIÓN METROPOLITANO

El Decreto 6 de 2018, del Ministerio del Medio Ambiente¹⁰⁵, entrega los antecedentes normativos, la línea base y las acciones establecidas para ser implementadas en las comunas de Lota, coronel, San Pedro de la Paz, Hualqui, Chiguayante, Concepción, Penco, Tomé, Hualpén y Talcahuano. El objetivo del plan es "dar cumplimiento a la norma primaria de calidad ambiental por MP2,5, en un plazo de 10 años y no sobrepasar los límites de latencia de la norma primaria de calidad ambiental por MP10".

Las emisiones de MP2,5 tienen una marcada estacionalidad, que se debe a "la entrada en operación de los sistemas de calefacción domiciliar". La evolución mensual en la concentración de MP se muestran en la figura siguiente:

Figura 85. Promedio de MP fino y grueso para cada mes del año calendario en el periodo 2011-2015, Concepción Metropolitano



Fuente: Decreto 6 de 2018, del Ministerio del Medio Ambiente

Como en todos los casos de estudio, el sector residencial es el principal responsable de la emisión de MP10 (49,23% de las emisiones) y de MP2,5 (58,62% de las emisiones). El inventario de emisiones por contaminante y emisor, se muestra en la tabla siguiente:

¹⁰⁵ Decreto 6, Santiago, 25 de enero de 2018, Ministerio del Medio Ambiente. ESTABLECE PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA LAS COMUNAS DE CONCEPCIÓN METROPOLITANO.

Tabla 152. Inventario de emisiones al año 2016, Concepción Metropolitana

Fuentes	Emisión Ton/año						
	MP10	MP2,5	SO ₂	NOx	CO	COV	NH ₃
Puntuales	2.995	2.182	15.719	12.182	100.309	290	-
Residencial	4.037	3.777	21	540	79.113	45.731	500
Móviles	351	333	14	6.752	15.127	2.022	84
Otras de área ¹⁰⁶	673	16	59	131	100	8.329	550
Quemas e incendios forestales	145	135	37	56	904	13	-
Total emisiones	8.201	6.443	15.850	19.661	195.553	56.385	1.134

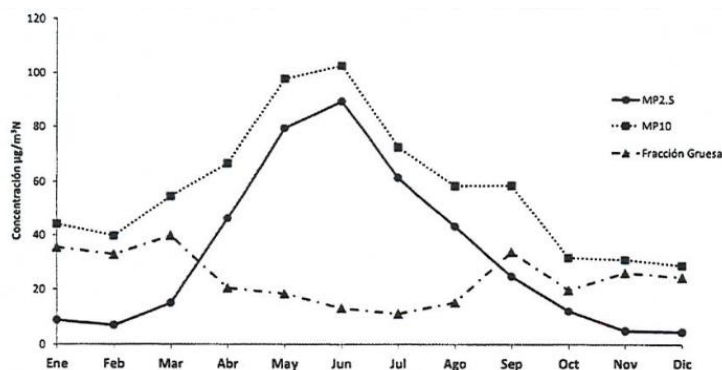
Fuente: Decreto 6 de 2018, del Ministerio del Medio Ambiente

10.2.7. LOS ÁNGELES

El Decreto 4 de 2017, del Ministerio del Medio Ambiente¹⁰⁷, entrega los antecedentes normativos, la línea base y las acciones establecidas para ser implementadas en la comuna, y tiene por objetivo “dar cumplimiento a los niveles de calidad ambiental establecidos para material particulado, en un plazo de 10 años”. Como en el caso de Concepción Metropolitana, una de las medidas estructurales consideradas corresponde a “la sustitución de los actuales sistemas de calefacción contaminantes por sistemas eficientes y con menos emisiones, que permitirá reducir las emisiones a la atmósfera y también las intradomiciliarias”.

Sobre la evolución a través del año de las emisiones, se destaca que, tanto las emisiones de MP2,5 como de MP10, tienen una marcada estacionalidad, debido a la operación de calefactores residenciales. La evolución en mensual de la concentración de estos contaminantes se muestra en la figura siguiente:

Tabla 153. Promedios mensuales del MP fino y grueso, Es Los Ángeles, 2013



¹⁰⁶ Incluye: construcciones, crianza animal, labranza agrícola, aplicación de fertilizantes, incendios urbanos, consumo de GLP y kerosene, leña institucional, solventes de uso doméstico, pintura arquitectónica, uso de adhesivos, emisiones residenciales de NH₃, fugas residenciales de GLP, distribución de combustible, lavasecos, pintura industrial (vehículos), aplicación de asfalto, fugas comerciales de GLP, parillas y asaduras, emisiones desde vertederos, plantas de tratamiento de aguas servidas, etc.

¹⁰⁷ Decreto 4, Santiago, 22 de febrero de 2017, Ministerio del Medio Ambiente. ESTABLECE PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA LA COMUNA DE LOS ÁNGELES.

Fuente: Decreto 4 de 2017, del Ministerio del Medio Ambiente

En la comuna de Los Ángeles, las fuentes residenciales son el principal emisor de MP10 (86,14% del total) y de MP2,5 (95,98%). El aporte de las distintas fuentes, en diversos contaminantes atmosféricos se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 154. Emisiones por categoría de fuentes en Los Ángeles, Ton/año

Tipo de fuente	MP10	MP2,5	CO	NOx	SO ₂	COV	NH ₃
Fuentes puntuales	561	146	459	610	36	1.388	73
Fuentes residenciales	4.032	3.919	60.979	218	4.240	10.530	479
Fuentes móviles	27	18,1	5.523	757	38	376	16
Fuentes fugitivas	61	-	-	-	-	-	-
Total	4.681	4.083	66.961	1.585	4.314	12.294	568

Fuente: Decreto 4 de 2017, del Ministerio del Medio Ambiente

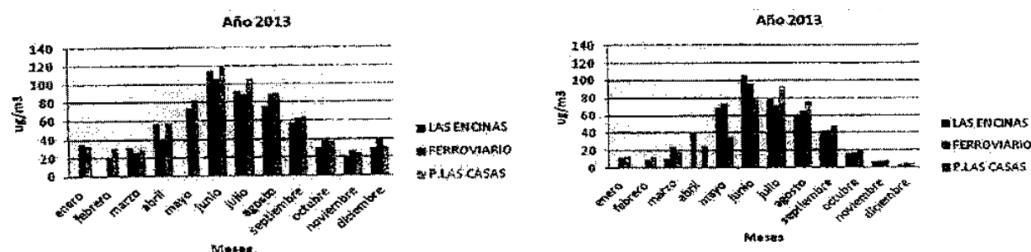
A la fecha de desarrollo del plan, se estimaba que el 87% de las viviendas del área urbana de la comuna, utilizaban leña como energético principal para la calefacción y/o cocción de alimentos, alcanzándose un consumo de 263.956 m³ estéreos al año. Se contabilizaban 44.759 estufas y 4.101 cocinas, ambas a combustibles sólidos, en operación.

10.2.8. TEMUCO Y PADRE LAS CASAS

El Decreto 8 de 2015, del Ministerio del Medio Ambiente¹⁰⁸, entrega los antecedentes normativos, la línea base y las acciones establecidas para ser implementadas en la comuna, y tiene por objetivo "dar cumplimiento a la norma de calidad primaria de calidad ambiental para material particulado respirable MP10 y a la norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable fino MP2,5, en un plazo de 10 años". Respecto al enfoque del plan, se establece que "dado que la principal fuente emisora es el uso de leña para calefacción, la estrategia está orientada en promover una calefacción sustentable".

En Temuco y Padre Las Casas se aprecia que tanto las emisiones de MP10, como de MP2,5, tienen una marcada estacionalidad, siendo mayores en los meses de invierno, como se muestra en a continuación:

Figura 86. Promedios mensuales de concentración de MP en Temuco y Padre Las Casas, año 2013



¹⁰⁸ Decreto 8, Santiago, 27 de febrero de 2015, Ministerio del Medio Ambiente. ESTABLECE PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR MP2,5 PARA LAS COMUNAS DE TEMUCO Y PADE LAS CASAS Y DE ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN POR MP10 PARA LAS MISMAS COMUNAS.

MP10

MP2,5

Fuente: Decreto 8 de 2015, del Ministerio del Medio Ambiente

Respecto del inventario de emisiones, el principal aportante en MP es el sector residencial, con un 82,24% de MP10 y 93,59% de MP2,5. El detalle del tipo de emisiones y emisores, se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 155. Inventario de emisiones en Temuco y Padre Las Casas

Categoría	Sub-Categoría	MP10	MP2,5	CO	NOx	COV	SO ₂	NH ₃
Puntuales	Combustión externa puntual	135	102	213	211	9	526	50
	Industria producción minera	126	35	0	0	0	0	0
	Otras	76	39	22	15	209	1	3
	Total Puntuales	338	175	234	225	218	528	52
	Participación (%)	3	2	0	5	0	86	2
Areales	Combustión externa residencial	11.008	10.703	121.015	449	62.275	69	356
	Quemas	255	220	1.913	50	173	3	2
	Otras	0	0	7	0	2.106	0	1.837
	Total Areales	11.262	10.923	122.923	500	64.554	72	2.196
	Participación (%)	84	96	75	12	93	12	95
Móviles en ruta	Total Móviles en ruta	102	75	41.415	3.508	4.469	11	62
	Participación (%)	0,8	0,7	25,2	82,1	6,5	1,9	2,7
Móviles fuera de ruta	Total Móviles fuera de ruta	1	1	168	38	9	4	0
	Participación (%)	0,0	0,0	0,1	0,9	0,0	0,6	0,0
Fugitivas	Construcción y demolición	63	0	-	-	-	-	-
	Polvo resuspendido	1.457	153	-	-	-	-	-
	Preparación de terrenos agrícolas	162	109	-	-	-	-	-
	Total fugitivas	1.682	261	-	-	-	-	-
	Participación (%)	12,6	2,3	-	-	-	-	-
Total		13.385	11.436	164.787	4.271	69.249	615	2.310

Fuente: (Briceño, Pizarro, & Schulz, 2014)

Según una encuesta realizada el año 2010, en Temuco y Padre Las Casas el 80% de las viviendas usaba leña para calefaccionarse y/o cocinar, traduciéndose en un consumo de leña estimado de 654.000 m³ estéreo al año. El consumo promedio por vivienda de 8,9 m³ estéreo al año en Temuco y 8 m³ estéreo al año en Padre Las Casas.

El total de artefactos que consumen combustibles sólidos identificados al año 2010 se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 156. Artefactos a leña en Temuco y Padre Las Casas, año 2010

Tipo de artefacto	N° de artefactos
Cocina a leña	29.148
Salamandra	5.919
Calefactor combustión lenta	38.398
Chimenea, insert u otro	975
Total	74.440

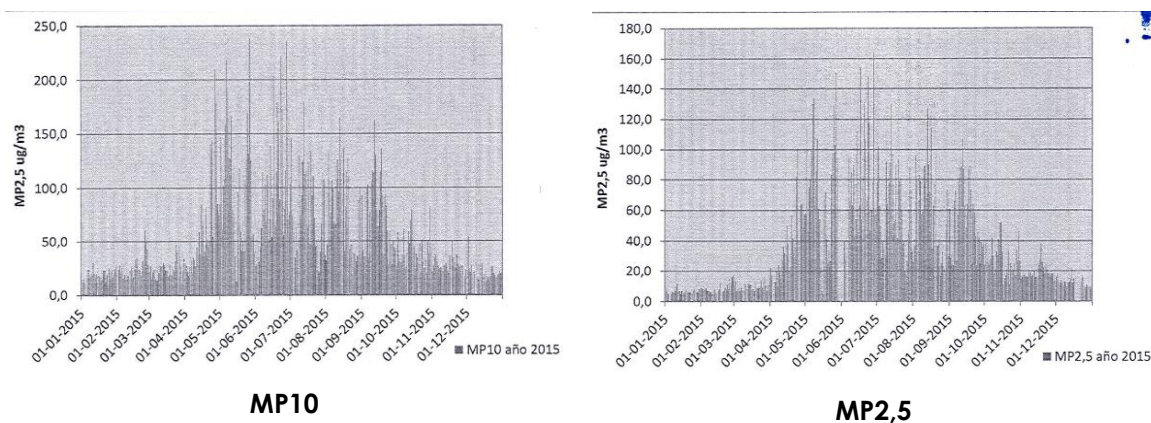
Fuente: Decreto 8 de 2015, del Ministerio del Medio Ambiente

10.2.9. VALDIVIA

El Decreto 25 de 2016, del Ministerio del Medio Ambiente¹⁰⁹, entrega los antecedentes normativos, la línea base y las acciones establecidas para ser implementadas en la comuna, y tiene por objetivo “en un plazo de 10 años, lograr que en la zona saturada, se dé cumplimiento a la norma primaria de calidad ambiental para MP10, y a la norma primaria de calidad ambiental para MP2,5”. Respecto al enfoque del plan, se establece que “al igual que en las ciudades del centro y sur del país, en la comuna de Valdivia, la principal fuente de contaminación atmosférica proviene del sector residencial, debido a la combustión de leña, tanto para calefacción como para cocina, razón por la cual, el presente Plan se enfoca principalmente en disminuir las emisiones generadas en este sector”.

En Valdivia se aprecia que tanto las emisiones de MP10, como de MP2,5, tienen una marcada estacionalidad, siendo mayores en los meses de invierno, como se muestra en a continuación:

Figura 87. Concentración de MP promedio 24 horas año 2015



Fuente: Decreto 25 de 2016, del Ministerio del Medio Ambiente

En lo que respecta al inventario de emisiones, considerando como año base el 2013, el sector residencial es responsable del 90,69% de las emisiones de MP10, y del 94,6% de las emisiones de MP2,5. El detalle por emisor y contaminante se muestra en la tabla siguiente:

¹⁰⁹ Decreto 25, Santiago, 2 de septiembre de 2016, Ministerio del Medio Ambiente. ESTABLECE PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA LA COMUNA DE VALDIVIA.

Figura 88. Inventario de emisiones por Valdivia, año 2013

Sector	Emisiones (Ton/año)					
	MP10	MP2,5	SO ₂	NO _x	NH ₃	CO
Residencial	7.375	7.171	55	359	304	178.457
Quemas e incendios forestales	22	21	1	7	0	128
Fuentes fijas	439	376	293	670	0	292
Móviles en ruta	16	15	3	490	11	704
Fugitivas	282	41	0	0	0	0
Total	8.134	7.624	352	1.526	316	179.581

Fuente: Decreto 25 de 2016, del Ministerio del Medio Ambiente

Respecto de las emisiones del sector residencial, se agrega lo siguiente, para el año base 2013:

- El 92% de las viviendas usa leña como combustible para calefacción y/o cocción, lo que se traduce en un consumo estimado de leña de 391.612 m³ estéreo al año.
- El consumo promedio de leña estimado por vivienda dentro del radio urbano de la comuna es de 10,1 m³ estéreo al año.
- La desagregación de la tenencia de artefactos que combustiona leña se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 157. Tipo de artefactos a biomasa utilizados en Valdivia

Tipo de artefacto	N° de artefactos en Valdivia
Cocina a leña	15.494
Salamandra	814
Calefactor combustión lenta con templador	19.696
Calefactor combustión lenta sin templador	6.036
Chimenea u otro	2.084
Total	44.125

Fuente: Decreto 25 de 2016, del Ministerio del Medio Ambiente

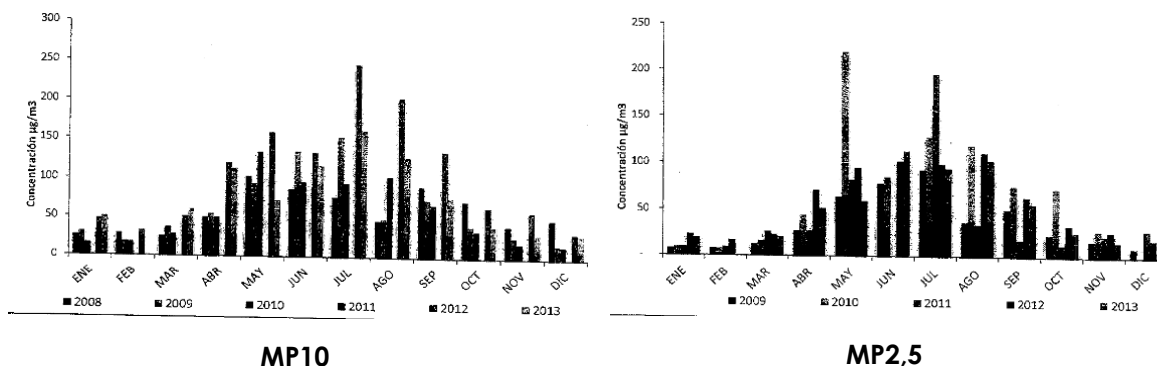
10.2.10. OSORNO

El Decreto 47 de 2015, del Ministerio del Medio Ambiente¹¹⁰, entrega los antecedentes normativos, la línea base y las acciones establecidas para ser implementadas en la comuna, y tiene por objetivo "lograr que, en la zona saturada, se dé cumplimiento a la norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable MP10, y a la norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino respirable MP2,5, en un plazo de 10 años". Respecto al enfoque del plan, se establece que "al igual que en las ciudades del centro y sur del país, en la comuna de Osorno, la principal fuente de contaminación atmosférica corresponde al sector residencial, debido a la combustión de leña, tanto para calefacción, agua caliente sanitaria y cocina, razón por la cual, el presente Plan se enfoca principalmente en disminuir las emisiones generadas en este sector".

¹¹⁰ Decreto 4, Santiago, 22 de febrero de 2017, Ministerio del Medio Ambiente. ESTABLECE PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA LA COMUNA DE OSORNO.

La distribución de las concentraciones de emisiones de MP10 y MP2,5 presentan una marcada estacionalidad, presentando los mayores valores en los meses de invierno, lo que se relaciona, entre otros, a la combustión de leña en el sector residencial.

Figura 89. Distribución anual de concentración de MP en Osorno, 2009 a 2013



Fuente: Decreto 47 de 2015, del Ministerio del Medio Ambiente

Sobre el inventario de emisiones, el sector residencial es el principal emisor de MP, con un 88,79% de las emisiones de MP10 y 94,99% de las emisiones de MP2,5. El aporte de las distintas fuentes, en diversos contaminantes atmosféricos se muestra en la tabla siguiente:

Figura 90. Emisiones por categoría de fuentes en Osorno, Ton/año

	MP10	MP2,5	SO ₂	NO _x	NH ₃	CO
Combustión residencial de leña	9.740	9.462	66	428	362	250.852
Quemas e incendios	173	162	28	68	4	1.268
Fuentes fijas	399	215	739	409	0	378
Móviles en ruta	33	29	3	723	14	3.180
Fugitivas	625	0	0	0	0	0
Total	10.970	9.961	836	1.628	380	255.678

Fuente: Decreto 47 de 2015, del Ministerio del Medio Ambiente

Respecto del consumo residencial de leña, se establece que al año 2013, el 95% de los hogares utilizaban leña como combustible, equivalente a un aproximado de 36.000 viviendas. El consumo promedio de leña por viviendas ascendía a 12,7 m³/año, contabilizándose un consumo total de 490.000 m³/año aproximadamente. Además, se estimaba que se encontraban en operación un total de 49.756 artefactos, distribuidos por tecnología, según se muestra en la tabla siguiente:

Figura 91. Estimación del parque de artefactos que combustión leña en Osorno, 2013

Artefacto	Nº de artefactos
Cocina	25.043
Calefactor con templador	15.251
Calefactor sin templador	5.286
Salamandras	1.833
Otras	1.397
Chimenea hogar abierto	945

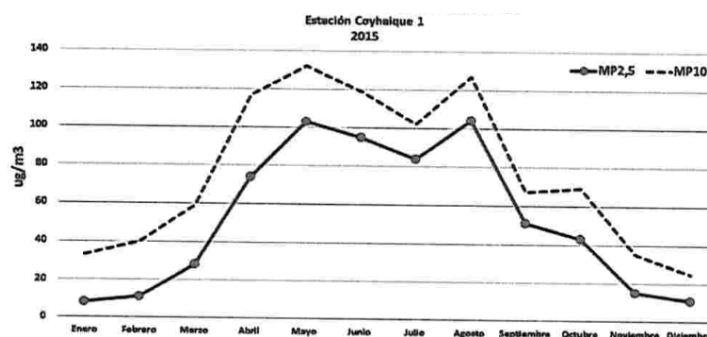
Fuente: Decreto 47 de 2015, del Ministerio del Medio Ambiente

10.2.11. COYHAIQUE Y SU ZONA CIRCUNDANTE

El Decreto 7 de 2018, del Ministerio del Medio Ambiente¹¹¹, entrega los antecedentes normativos, la línea base y las acciones establecidas para ser implementadas en la comuna, y tiene por objetivo “dar cumplimiento a las normas primarias de calidad ambiental para material particulado respirable MP10 y MP2,5, en un plazo de 10 años”. Además, declara que “se busca promover una calefacción sustentable, por lo cual se incluyen medidas que tienen por objetivo diversificar la matriz energética de la calefacción domiciliar, comercial y pública.

Como en el resto de los planes revisados, las emisiones de MP tienen una marcada estacionalidad, presentando las mayores concentraciones en los meses de otoño-invierno, como puede apreciarse en la figura siguiente:

Figura 92. Concentraciones mensuales de MP en Coyhaique, año 2015



Fuente: Decreto 7 de 2018, del Ministerio del Medio Ambiente

Respecto del inventario de emisiones, el sector residencial es el principal emisor de MP, con un 99,9% de las emisiones de MP10 y un 99,67% de las emisiones de MP2,5. El detalle por contaminante y emisor se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 158. Inventario de emisiones en Ton/año en Coyhaique, año s015

Sector	MP10	MP2,5	SO ₂	NO _x
Residencial	6.614	6.260	35	844
Fuentes móviles	-	13	-	159
Fuentes fijas (calderas)	9	7	7	-
Total	6.623	6.280	35	1.003

Fuente: Decreto 7 de 2018, del Ministerio del Medio Ambiente

Respecto del sector residencial, al 2015 se estimaba que el 96% de las viviendas utilizaba leña para calefacción o cocción de alimentos, con un consumo de 485.368 m³ estéreo al año en 34.455 artefactos residenciales de combustión de leña, observándose un aumento

¹¹¹ Decreto 7, Santiago, 25 de enero de 2018, Ministerio del Medio Ambiente. ESTABLECE PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA LA CIUDAD DE COYHAIQUE Y SU ZONA CIRCUNDANTE.

de la tenencia entre 2009 y 2015, aumentando desde 1,27 a 1,56 artefactos por vivienda. La desagregación de estos artefactos por tecnología se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 159. Artefactos a leña utilizados en la zona sujeta al Plan de Coyhaique al año 2015

Tipo de artefacto	N° de artefactos
Combustión lenta sin templador	12.804
Combustión lenta con templador	6.402
Cocinas a leña	13.116
Salamandra y hechizo	2.133
Chimenea ¹¹²	0
Total	34.455

Fuente: Decreto 7 de 2018, del Ministerio del Medio Ambiente

¹¹² Se asume un 0% de chimeneas dada la restricción en el PDA por MP10.

10.3. ANEXO 3: CONSULTA A AGENTES DEL MERCADO NACIONAL

Para complementar el desarrollo este documento, se consideró la realización de una consulta a los agentes relevantes del mercado. En la tabla siguiente es posible apreciar a qué agentes se les envió la consulta y quiénes respondieron. La consulta fue enviada el 23 de septiembre a todas las empresas que aparecen en la tabla siguiente, y luego se envió un recordatorio el 4 de octubre a quienes no habían contestado.

Tabla 160. Agentes del mercado consultados

Nombre de la empresa	Tipo de calefactores (leña o pellet)	Envío	Notificación de recepción	Entrevista/envío cuestionario
C de A Ingeniería SPA (Amesti)	Leña y Pellet	21-sept	21-sept	05-oct
Ingeniería de Combustión Bosca Chile S.A.	Leña y Pellet	21-sept	08-oct	08-oct
SODIMAC S.A.	Pellet	23-sept	Sin respuesta	
Comercial Anwo S.A.	Pellet	23-sept	30-sept	30-sept
Sociedad de Inversiones Atiseni SPA.	Leña	23-sept	01-oct	01-oct
Sistemas Técnicos Europeos Chile SPA.	Pellet	23-sept	Sin respuesta	
Andes Energy Solutions SPA	Pellet	23-sept	05-oct	Sin respuesta
Comercial Coyahue Spa	Pellet	23-sept	Sin respuesta	
Biomasa de Patagonia SpA.	Pellet	23-sept	Sin respuesta	
Biorlegi Chile SPA.	Pellet	23-sept	Sin respuesta	
Altacasa Decoraciones Ltda.	Pellet	23-sept	05-oct	Ya no están en el mercado
Cosmoplas S.A.	Pellet	23-sept	Sin respuesta	
Falabella Retail S.A.	Pellet	23-sept	Sin respuesta	
Flaama Chile SPA	Pellet	23-sept	Sin respuesta	
INGENIERIA Y SERVICIOS RECAL LIMITADA	Pellet	23-sept	05-oct	Sin respuesta
Jara Méndez Limitada	Pellet	23-sept	Sin respuesta	
Miguel Canale y Cía Ltda.	Pellet	23-sept	Sin respuesta	
Ecomas S.A.	Pellet	23-sept	12-oct	12-oct
Sociedad Gastronómica y de Inversiones Tex-Mex Ltda	Pellet	23-sept	Sin respuesta	
Comercial Enerlego SpA	Pellet	23-sept	Sin respuesta	
SOLUCIONES TECNOLOGICAS EUROPEAS - CHILE SPA	Pellet	23-sept	Sin respuesta	
2D Electrónica	Pellet	23-sept	23-sept	23-sept
Albin Trotter	Pellet	23-sept	Sin respuesta	
CBF inversiones	Pellet	23-sept	Sin respuesta	
Daniel Poblete (particular)	Pellet	23-sept	Sin respuesta	

Nombre de la empresa	Tipo de calefactores (leña o pellet)	Envío	Notificación de recepción	Entrevista/envío cuestionario
BBR S.A.	Pellet	23-sept	Sin respuesta	
Fábrica de cocinas Yunque Ltda	Pellet	23-sept	Sin respuesta	
Empresa SCN S.A.	Pellet	23-sept	05-oct	05-oct

Fuente: Elaboración propia

Las preguntas que se considera realizar, y que se espera la validación de la contraparte técnica, son:

1. Por favor, respecto de las marcas de **calefactores a leña y/o pellets de madera** que comercializa su empresa, identifique aquéllas de fabricación nacional y aquéllas que son importadas, indicando el país de procedencia para las últimas.
2. ¿Identifica Ud. alguna **preferencia de los usuarios** por algún tipo o modelo de calefactor a **pellet o a leña**?
3. ¿Ha notado algún cambio en las preferencias de los usuarios en la compra de **calefactores a leña o a pellets de madera** en los últimos 5 años?
4. ¿Identifica Ud. algún cambio en las preferencias de artefactos a leña o pellet atribuible a la aparición del **etiquetado de eficiencia energética (EEE)**?
5. ¿Su empresa ha hecho alguna modificación en las líneas de producción de **calefactores a leña y/o pellets de madera** para mejorar la calificación en el EEE, o bien ha modificado los modelos que importa? Si la respuesta es afirmativa, por favor profundizar, identificando las modificaciones realizadas.
6. ¿Su empresa considera realizar modificaciones futuras en las líneas de producción de **calefactores a leña y/o pellets de madera**, o bien en los modelos que importa con el fin de mejorar su calificación de EE? Favor justificar su respuesta.
7. ¿Identifica modificaciones de diseño de los artefactos a leña y/o a pellet que impliquen una mejora en la EE a un costo razonable, sin comprometer las emisiones?
8. Desde su conocimiento del mercado, ¿Sabe Ud. si sus competidores han modificado su oferta **calefactores a leña y/o pellets de madera**, o bien han modificado los modelos que importan para mejorar la calificación en el EEE? Si la respuesta es afirmativa, por favor profundizar.
9. ¿Su empresa ha enfrentado alzas de costos en la producción/importación de **calefactores a leña o a pellet** en los últimos 5 años?
10. Si su respuesta es afirmativa, por favor indique en cada caso, si parte de estas alzas en los costos se ha debido a acciones para dar cumplimiento a las obligaciones normativas relativas al **EEE y** también si identifica alzas debidas al **cumplimiento de estándares de emisiones**
11. ¿Cuál es su opinión respecto al funcionamiento de los organismos de certificación en Chile para **calefactores a leña y/o pellets de madera** en aspectos tales como precios, capacidades técnicas, confiabilidad de los resultados, tiempo de respuesta, u otro que considere relevante.
12. Al revisar la información de certificaciones de **calefactores a leña** se observa que los modelos categorizados como B en el EEE han desaparecido del mercado. ¿A qué cree que se deba esto?
13. De las siguientes posibilidades de intervenir un calefactor, ¿cuáles considera que tienen un mayor impacto en la eficiencia y por qué?

Posibilidad e intervención	Impacto sobre la eficiencia (positivo o negativo)	Comentarios
Cambio en las dimensiones de la cámara de combustión		
Cambio en la aislación del calefactor		
Control automático en la combustión		
Control automático en la entrada de combustible		
Cambios en tiraje del calefactor		
Otros (mencionar)		

14. ¿Cuáles son las principales barreras que existen para mejorar la eficiencia de **calefactores a leña y/o pellets de madera** a nivel de **mercado**? Favor indicar cuáles considera más críticas.
15. ¿Cuáles son las principales barreras que existen para mejorar la eficiencia de **calefactores a leña y/o pellets de madera** a nivel de **su empresa**? Favor indicar cuáles considera más críticas.

Se considera buscar la realización de una reunión virtual o presencial, según las preferencias de los entrevistados, con representantes de Bosca y Amesti por separado, dado que son las empresas con mayor participación en el mercado en ambos tipos de calefactores. +

Para la realización de la consulta, se enviará un correo electrónico, solicitando una entrevista, con el texto siguiente

Estimado Sr....

Junto con saludar, escribo para solicitar su colaboración en un estudio que la empresa ATS energía está desarrollando para el Ministerio de Energía. El estudio tiene por finalidad llevar a cabo una evaluación técnica, económica y social de la implementación de medidas de eficiencia energética en nuevos calefactores que combustionan leña y pellet para uso residencial, con el objeto de tener mayor claridad del estatus actual del mercado en materia de tecnologías, sus eficiencias, efectos que ha tenido el etiquetado, barreras existentes en materia de certificación, entre otras. Toda la información aportada será tratada con la debida reserva y no se publicará información que pueda ser sensible para la empresa.

En este contexto, me dirijo a Ud. para solicitar su colaboración y atender las solicitudes de información sobre su conocimiento respecto a la evolución del mercado, tanto de calefactores a leña como de pellets de madera.

Para mayores antecedentes, por favor comunicarse con la consultora Srta. Iris Silva, Coordinadora de Proyecto (iris.silva@atsenergia.cl) y/o con el Sr. Christian Malebrán, Profesional Unidad de Biocombustibles, División de Combustibles y Nuevos Energéticos del Ministerio de Energía (cmalebran@minenergia.cl).

Agradeceré informar su disponibilidad para concretar una entrevista presencial o por videoconferencia, como sea su preferencia, a Iris Silva, iris.silva@atsenergia.cl, quien se pondrá en contacto con Ud. para agendar una entrevista.

Sin otro particular y esperando contar con su participación, le saluda cordialmente.

Para el resto de los agentes, se considera el envío de las preguntas en formato virtual, ofreciendo la posibilidad de concretar una llamada telefónica o videoconferencia, si así lo prefieren. El correo de contacto acordado con la contraparte técnica es el siguiente:

Estimado Sr....

Junto con saludar, escribo para solicitar su colaboración en un estudio que la empresa ATS energía está desarrollando para el Ministerio de Energía. El estudio tiene por finalidad llevar a cabo una evaluación técnica, económica y social de la implementación de medidas de eficiencia energética en nuevos calefactores que combustionan leña y pellet para uso residencial, con el objeto de tener mayor claridad del estatus actual del mercado en materia de tecnologías, sus eficiencias, efectos que ha tenido el etiquetado, barreras existentes en materia de certificación, entre otras. Toda la información aportada será tratada con la debida reserva y no se publicará información que pueda ser sensible para la empresa.

En este contexto, me dirijo a Ud. para solicitar su colaboración y responder un breve cuestionario sobre su conocimiento respecto a la evolución del mercado, tanto de calefactores a leña como de pellets de madera.

Para mayores antecedentes, por favor comunicarse con la consultora Srta. Iris Silva, Coordinadora de Proyecto (iris.silva@atsenergia.cl) y/o con el Sr. Christian Malebrán, Profesional Unidad de Biocombustibles, División de Combustibles y Nuevos Energéticos del Ministerio de Energía (cmalebran@minenergia.cl).

Agradeceré enviar sus respuestas a Iris Silva, iris.silva@atsenergia.cl

Sin otro particular y esperando contar con su participación, le saluda cordialmente

Se considera realizar registro de cada reunión/entrevista, a través del levantamiento de un acta resumen, y si el entrevistado lo permite, realizar la grabación de la misma. Todo esto será entregado como anexo al informe.

Sobre los datos de contacto para realizar la solicitud de entrevista, se cuenta con la información entregada por los organismos de certificación.

10.4. ANEXO 4: DETALLE DE VARIACIÓN DE EMISIONES Y CONCENTRACIONES POR LOCALIDAD

Tabla 161. Cambio en emisiones y concentración de MP2,5 por implementación de MEPS en Talca y Maule

	Emisiones (TonMP2,5/año)						Cambio en concentración (µg/m3) anual	Costos asociados (USD)
	Caso base Leña	Caso MEPS Leña	Diferencia leña	Caso base Pellets	Caso MEPS pellets	Diferencia pellets		
2018	62,7	62,7	-	1,8	1,8	-	-	-
2019	63,0	63,0	-0,1	2,6	2,6	-0,002	0,001	9.147
2020	63,2	63,3	-0,1	3,4	3,4	-0,003	0,003	18.226
2021	63,3	63,4	-0,2	4,2	4,2	-0,005	0,004	27.171
2022	63,2	63,4	-0,2	5,1	5,1	-0,007	0,005	35.944
2023	63,1	63,4	-0,2	6,0	6,0	-0,008	0,007	44.529
2024	63,0	63,3	-0,3	6,9	6,9	-0,010	0,008	52.903
2025	62,7	63,1	-0,3	7,9	7,9	-0,012	0,009	61.044
2026	62,4	62,8	-0,4	8,9	8,9	-0,014	0,010	68.928
2027	62,1	62,5	-0,4	9,9	9,9	-0,016	0,012	76.531
2028	61,7	62,1	-0,5	11,0	11,0	-0,018	0,013	83.831
2029	61,2	61,7	-0,5	12,1	12,1	-0,021	0,014	90.807
2030	60,6	61,2	-0,5	13,2	13,2	-0,023	0,015	97.431
2031	60,0	60,6	-0,6	14,4	14,4	-0,025	0,016	103.699
2032	59,3	59,9	-0,6	15,6	15,6	-0,028	0,017	109.579

Fuente: Elaboración propia

Tabla 162. Cambio en emisiones y concentración de MP2,5 por implementación de MEPS en Chillán y Chillán Viejo

	Emisiones (TonMP2,5/año)						Cambio en concentración (µg/m3) anual	Costos asociados (USD)
	Caso base Leña	Caso MEPS Leña	Diferencia leña	Caso base Pellets	Caso MEPS pellets	Diferencia pellets		
2018	90,1	90,1	-	2,7	2,7	-	-	-
2019	89,9	90,0	-0,1	3,8	3,8	-0,002	0,000	2.016
2020	89,7	89,8	-0,1	5,0	5,0	-0,005	0,001	3.992
2021	89,3	89,5	-0,2	6,3	6,3	-0,007	0,001	5.918
2022	88,7	89,0	-0,3	7,6	7,6	-0,010	0,001	7.787
2023	88,1	88,4	-0,3	8,9	8,9	-0,013	0,001	9.597
2024	87,4	87,8	-0,4	10,3	10,3	-0,015	0,002	11.344
2025	86,6	87,1	-0,5	11,7	11,7	-0,018	0,002	13.025
2026	85,8	86,3	-0,5	13,2	13,2	-0,021	0,002	14.636
2027	84,9	85,4	-0,6	14,7	14,7	-0,024	0,002	16.171

	Emisiones (TonMP2,5/año)						Cambio en concentración (µg/m3) anual	Costos asociados (USD)
	Caso base Leña	Caso MEPS Leña	Diferencia leña	Caso base Pellets	Caso MEPS pellets	Diferencia pellets		
2028	83,9	84,5	-0,6	16,3	16,3	-0,027	0,003	17.629
2029	82,8	83,4	-0,7	17,9	18,0	-0,031	0,003	19.005
2030	81,6	82,3	-0,7	19,6	19,7	-0,034	0,003	20.294
2031	80,4	81,1	-0,8	21,4	21,4	-0,038	0,003	21.496
2032	79,0	79,8	-0,8	23,2	23,2	-0,041	0,003	22.603

Fuente: Elaboración propia

Tabla 163. Cambio en emisiones y concentración de MP2,5 por implementación de MEPS en Los Ángeles

	Emisiones (TonMP2,5/año)						Cambio en concentración (µg/m3) anual	Costos asociados (USD)
	Caso base Leña	Caso MEPS Leña	Diferencia leña	Caso base Pellets	Caso MEPS pellets	Diferencia pellets		
2018	88,9	88,9	-	2,3	2,3	-	-	-
2019	88,7	88,7	-0,1	3,3	3,3	-0,002	0,000	6.356
2020	88,4	88,6	-0,1	4,3	4,3	-0,004	0,001	12.587
2021	88,0	88,2	-0,2	5,3	5,4	-0,006	0,001	18.659
2022	87,5	87,8	-0,3	6,4	6,5	-0,008	0,001	24.552
2023	86,9	87,2	-0,3	7,6	7,6	-0,011	0,001	30.256
2024	86,2	86,6	-0,4	8,8	8,8	-0,013	0,002	35.761
2025	85,4	85,9	-0,5	10,0	10,0	-0,016	0,002	41.052
2026	84,6	85,1	-0,5	11,2	11,3	-0,018	0,002	46.120
2027	83,7	84,3	-0,6	12,5	12,6	-0,021	0,002	50.949
2028	82,7	83,3	-0,6	13,9	13,9	-0,023	0,003	55.528
2029	81,6	82,3	-0,7	15,3	15,3	-0,026	0,003	59.844
2030	80,5	81,2	-0,7	16,7	16,8	-0,029	0,003	63.887
2031	79,2	80,0	-0,7	18,2	18,3	-0,032	0,003	67.650
2032	77,9	78,7	-0,8	19,8	19,8	-0,035	0,003	71.117

Fuente: Elaboración propia

Tabla 164. Cambio en emisiones y concentración de MP2,5 por implementación de MEPS en Temuco y Padre Las Casas

	Emisiones (TonMP2,5/año)						Cambio en concentración (µg/m3) anual	Costos asociados (USD)
	Caso base Leña	Caso MEPS Leña	Diferencia leña	Caso base Pellets	Caso MEPS pellets	Diferencia pellets		
2018	80,2	80,2	-	2,6	2,6	-	-	-
2019	79,8	79,9	-0,1	3,7	3,7	-0,002	0,001	2.875
2020	79,4	79,5	-0,1	4,8	4,8	-0,005	0,001	5.681

	Emisiones (TonMP2,5/año)						Cambio en concentración (µg/m3) anual	Costos asociados (USD)
	Caso base Leña	Caso MEPS Leña	Diferencia leña	Caso base Pellets	Caso MEPS pellets	Diferencia pellets		
2021	78,8	79,0	-0,2	6,0	6,0	-0,007	0,002	8.402
2022	78,1	78,4	-0,2	7,2	7,2	-0,009	0,002	11.031
2023	77,4	77,7	-0,3	8,5	8,5	-0,012	0,003	13.563
2024	76,6	76,9	-0,4	9,8	9,9	-0,015	0,003	15.992
2025	75,7	76,1	-0,4	11,2	11,2	-0,017	0,003	18.312
2026	74,7	75,2	-0,5	12,6	12,6	-0,020	0,004	20.520
2027	73,7	74,2	-0,5	14,1	14,1	-0,023	0,004	22.607
2028	72,6	73,1	-0,5	15,6	15,6	-0,026	0,005	24.570
2029	71,4	71,9	-0,6	17,2	17,2	-0,029	0,005	26.402
2030	70,1	70,7	-0,6	18,8	18,8	-0,033	0,005	28.097
2031	68,7	69,4	-0,7	20,5	20,5	-0,036	0,005	29.653
2032	67,3	68,0	-0,7	22,2	22,2	-0,040	0,006	31.062

Fuente: Elaboración propia

Tabla 165. Cambio en emisiones y concentración de MP2,5 por implementación de MEPS en Osorno

	Emisiones (TonMP2,5/año)						Cambio en concentración (µg/m3) anual	Costos asociados (USD)
	Caso base Leña	Caso MEPS Leña	Diferencia leña	Caso base Pellets	Caso MEPS pellets	Diferencia pellets		
2018	41,8	41,8	-	1,1	1,1	-	-	-
2019	41,9	41,9	-0,0	1,6	1,6	-0,001	0,000	522
2020	42,0	42,0	-0,1	2,1	2,1	-0,002	0,000	1.038
2021	41,9	42,0	-0,1	2,6	2,6	-0,003	0,000	1.544
2022	41,8	41,9	-0,1	3,2	3,2	-0,004	0,000	2.038
2023	41,6	41,8	-0,2	3,7	3,7	-0,005	0,001	2.519
2024	41,4	41,6	-0,2	4,3	4,3	-0,006	0,001	2.986
2025	41,2	41,4	-0,2	4,9	4,9	-0,008	0,001	3.439
2026	40,9	41,2	-0,2	5,5	5,5	-0,009	0,001	3.876
2027	40,7	40,9	-0,3	6,2	6,2	-0,010	0,001	4.297
2028	40,3	40,6	-0,3	6,8	6,8	-0,012	0,001	4.700
2029	40,0	40,3	-0,3	7,5	7,5	-0,013	0,001	5.085
2030	39,5	39,9	-0,3	8,2	8,2	-0,014	0,001	5.450
2031	39,1	39,5	-0,4	9,0	9,0	-0,016	0,001	5.795
2032	38,6	39,0	-0,4	9,7	9,7	-0,017	0,001	6.118

Fuente: Elaboración propia

Tabla 166. Cambio en emisiones y concentración de MP2,5 por implementación de MEPS en Valdivia

	Emisiones (TonMP2,5/año)						Cambio en concentración (µg/m3) anual	Costos asociados (USD)
	Caso base Leña	Caso MEPS Leña	Diferencia leña	Caso base Pellets	Caso MEPS pellets	Diferencia pellets		
2018	51,13	51,13	-	1,31	1,31	-	-	-
2019	51,07	51,12	-0,04	1,88	1,88	-0,00	0,000	470
2020	50,99	51,07	-0,08	2,46	2,47	-0,00	0,000	932
2021	50,82	50,94	-0,12	3,07	3,08	-0,00	0,001	1.384
2022	50,59	50,75	-0,16	3,71	3,71	-0,00	0,001	1.824
2023	50,33	50,53	-0,20	4,36	4,37	-0,01	0,001	2.252
2024	50,03	50,26	-0,23	5,03	5,04	-0,01	0,001	2.666
2025	49,69	49,96	-0,27	5,73	5,74	-0,01	0,001	3.067
2026	49,32	49,62	-0,30	6,46	6,47	-0,01	0,001	3.453
2027	48,91	49,24	-0,33	7,21	7,22	-0,01	0,001	3.823
2028	48,46	48,82	-0,36	7,98	8,00	-0,01	0,002	4.177
2029	47,97	48,36	-0,39	8,79	8,80	-0,02	0,002	4.514
2030	47,43	47,85	-0,42	9,62	9,63	-0,02	0,002	4.833
2031	46,86	47,30	-0,44	10,48	10,49	-0,02	0,002	5.134
2032	46,24	46,71	-0,47	11,37	11,39	-0,02	0,002	5.415

Fuente: Elaboración propia

Tabla 167. Cambio en emisiones y concentración de MP2,5 por implementación de MEPS en Coyhaique

	Emisiones (TonMP2,5/año)						Cambio en concentración (µg/m3) anual	Costos asociados (USD)
	Caso base Leña	Caso MEPS Leña	Diferencia leña	Caso base Pellets	Caso MEPS pellets	Diferencia pellets		
2018	68,25	68,25	-	1,75	1,75	-	-	-
2019	67,96	68,02	-0,05	2,51	2,51	-0,00	0,000	206
2020	67,62	67,73	-0,11	3,30	3,30	-0,00	0,001	408
2021	67,14	67,30	-0,16	4,12	4,12	-0,00	0,001	603
2022	66,54	66,75	-0,21	4,96	4,97	-0,01	0,002	791
2023	65,88	66,13	-0,26	5,84	5,84	-0,01	0,002	972
2024	65,16	65,46	-0,30	6,74	6,75	-0,01	0,002	1.145
2025	64,40	64,74	-0,35	7,68	7,69	-0,01	0,003	1.311
2026	63,57	63,96	-0,39	8,65	8,66	-0,01	0,003	1.469
2027	62,69	63,12	-0,43	9,65	9,67	-0,02	0,003	1.618
2028	61,76	62,22	-0,46	10,69	10,71	-0,02	0,004	1.758
2029	60,76	61,25	-0,50	11,76	11,78	-0,02	0,004	1.889
2030	59,70	60,23	-0,53	12,88	12,90	-0,02	0,004	2.010

	Emisiones (TonMP2,5/año)						Cambio en concentración (µg/m3) anual	Costos asociados (USD)
	Caso base Leña	Caso MEPS Leña	Diferencia leña	Caso base Pellets	Caso MEPS pellets	Diferencia pellets		
2031	58,58	59,14	-0,55	14,03	14,05	-0,02	0,004	2.122
2032	57,41	57,99	-0,58	15,22	15,25	-0,03	0,004	2.223

Fuente: Elaboración propia

10.5. ANEXO 5: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE EMISIONES DE MP2,5 Y SU IMPACTO EN CHILE

Con el objetivo de establecer un estándar mínimo de eficiencia energética en los calefactores a leña y pellets que actualmente se comercializan a nivel nacional, se realizó un análisis estadístico de aquella variable, y en base a ello, se proponen los límites de eficiencia para el MEPS.

Complementario a lo anterior, con el fin de evaluar una eventual regulación de emisiones de MP2,5, se realiza un análisis estadístico de los factores de emisiones actuales de los equipos vendidos a partir de los registros oficiales de la SEC. El análisis considera la estadística descriptiva de datos medidos e informados en los respectivos laboratorios tanto para calefactores a leña como a pellets de madera. Una vez calculados tales indicadores, se verifica el tipo de distribución y se procede a establecer intervalos de confianza para las diferentes clases establecidas en la normativa vigente.

Sobre la base que el estándar mínimo de eficiencia energética será aplicado en la variable energética, todos los respectivos análisis se realizarán sobre aquella variable medida y reportada.

10.5.1. CALEFACTORES A LEÑA

La base de datos utilizada para establecer el análisis estadístico de las emisiones de material particulado para calefactores a leña y pellets es el mismo que fue utilizado para el rendimiento energético. Específicamente para calefactores a leña se consignan 38 equipos y las emisiones oscilan entre un rango de 1,24 – 3,04 g/h.

DETERMINACIÓN DE UN LÍMITE PARA EMISIONES

A partir de esta información se obtienen la siguiente información propia de la estadística descriptiva para las emisiones de material particulado.

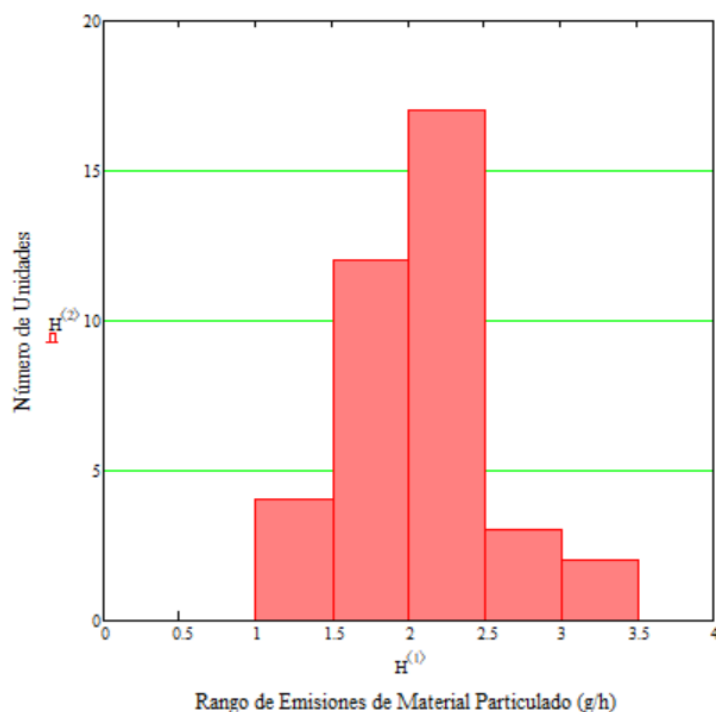
Tabla 168. Estadística descriptiva de datos para calefactores a leña, calefactores a leña

Media	2,1 g/h
Mediana	2,0 g/h
Moda	2,4 g/h
Desviación Estándar	0,451 g/h
Varianza de la Muestra	0,2 g/h
Curtosis	-0,162
Coficiente de Asimetría	0,304
Rango	1,85 g/h
Mínimo	1,24 g/h
Máximo	3,09 g/h
Suma	78,5 g/h
Total Muestra	38

Fuente: Elaboración propia en base a datos SEC

A partir de la base de datos se puede graficar la distribución de frecuencia para las emisiones de material particulado mediante un histograma que a continuación se presenta.

Figura 93. Histograma de emisiones de MP2,5, calefactores a leña



Fuente: Elaboración propia en base a datos SEC

Conforme se observa en el histograma, es razonable verificar que la tecnología actual disponible en el mercado nacional, de acuerdo a lo reportado por los laboratorios en lo que respecta a las emisiones de material particulado registradas, sigan una distribución normal. Para esto, además de la información gráfica del histograma, se evaluarán tres pruebas: 1) Las medidas de tendencia central, 2) Las medidas de distribución y 3) La concentración de datos según la media y la desviación estándar.

1) Medidas de tendencia central

Cuando se comparan la media, mediana y moda se observan los siguientes valores:

Tabla 169. Medidas de tendencia central, emisiones de MPO2,5, calefactores a leña

Media	2,1 g/h
Mediana	2,0 g/h
Moda	2,4 g/h

Fuente: Elaboración propia en base a datos SEC

De acuerdo al histograma, todos estos valores de emisiones se encuentran en el rango 2 – 2,5 g/h de manera que se puede aseverar que las medidas de tendencia central son consistentes con una distribución normal.

2) Medidas de distribución

Las variables a considerar para este caso corresponden al coeficiente de asimetría y la curtosis que corresponden a:

Tabla 170. Medidas de distribución, emisiones MP2,5, calefactores a leña

Coeficiente de Asimetría (Skewness)	0,304
Curtosis	-0,162

Fuente: Elaboración propia en base a datos SEC

De acuerdo al valor del coeficiente de asimetría, se observa que los datos tienen una tendencia simétrica con valores cercanos a 0. Por otra parte, el valor es mayor que cero (0,304) lo que de acuerdo al coeficiente de Fischer los datos se encuentran en el rango de asimetría positiva.

3) Concentración de datos según la media y la desviación estándar

Entre los factores relevantes para una distribución normal y como una regla empírica, se considera como tal aquella donde aproximadamente el 68% de los datos se encuentren dentro del rango de 1 desviación estándar de la media. Asimismo, a veces se considera que el 95% de los datos estén dentro de 2 desviaciones estándar o 3 desviaciones estándar de la media.

Para este caso los cálculos reportan:

Tabla 171. Análisis estadístico de concentración de datos, emisiones MP2,5, calefactores a leña

Media	2,1 g/h
Desviación Estándar	0,451
$\mu - \sigma$	1,65
$\mu + \sigma$	2,55
Porcentaje de Valores menores a $\mu - \sigma$	18,4%
Porcentaje de Valores menores a $\mu + \sigma$	7,9%
Porcentaje de Valores entre $[\mu - \sigma ; \mu + \sigma]$	42,1%

Fuente: Elaboración propia en base a datos SEC

Estos valores muestran que los porcentajes de valores en torno de la media con el valor unitario de desviación estándar se encuentran en 42,1% y considerando que el máximo valor aceptable porcentual de datos agrupados corresponde al 68% se considera que los datos tienen un comportamiento de distribución normal y desde un punto de vista tecnológico, en cuanto a la distribución estadística, el mercado se comporta de esa manera.

Una vez establecido que la distribución de datos reportados se comporta de manera normal, es posible obtener la incertidumbre o estimación del intervalo de error de la base de datos respecto de la media. El valor es obtenido sobre la base de la ecuación:

$$\bar{x} \pm t_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{s}{\sqrt{n}}$$

De esta manera, para la respectiva base de datos de calefactores a leña se obtiene los intervalos de incertidumbre de la medición de emisión de material particulado:

$$2,10 \pm 0,15 \text{ g/h}$$

De lo anterior, se considera un límite para las emisiones de 2 g/h para calefactores a leña.

IMPACTO DEL LÍMITE PARA EMISIONES

De la aplicación de un límite para emisiones de MP2,5, establecido en 2,0 g/h según se detalla precedentemente, se tienen los siguientes resultados:

Tabla 172. Costos acumulados de aplicar un MEPS con límite a emisiones de MP2,5, calefactores a leña

Localidad	Costos acumulados [USD]		
	2022	2027	2032
Talca y Maule	-27.918	-122.592	-275.818
Chillán y Chillán Viejo	-6.073	-26.217	-58.070
Los Ángeles	-19.220	-82.896	-183.351
Temuco y Padre Las Casas	-8.603	-36.841	-80.845
Valdivia	-1.426	-6.187	-13.794
Osorno	-1.589	-6.926	-15.501
Coyhaique	-621	-2.652	-5.810
Total	-65.449	-284.312	-633.188

Fuente: Elaboración propia en base a PAMS

En lo que respecta a las emisiones evitadas, éstas siguen siendo negativas, por lo que se continúa observando un aumento ellas. Esta se puede explicar porque el límite establecido, si bien es menor que el factor de emisiones de calefactores a leña que cumplen el estándar, aún sigue siendo mayor al estimado para el parque total y para aquellos calefactores que no cumplen con el estándar (ver Tabla 118).

Tabla 173. Emisiones de MP2,5 evitadas por calefactores a leña a nivel nacional, según año

	Emisiones evitadas (Ton)
2022	-80,06
2027	-508,80
2032	-986,89

Fuente: Elaboración propia en base a PAMS

10.5.2.CALEFACTORES A PELLETS DE MADERA

Al igual que en el caso anterior, se puede realizar el análisis estadístico del factor de emisiones para material particulado para los calefactores a pellets de madera. En este caso, a partir de una base de datos de 238 equipos certificados entre los años 2017 y 2021, los rangos de emisión se encuentran entre 1,1 y 2,9 g/h.

DETERMINACIÓN DE UN LÍMITE PARA EMISIONES

A partir de esta información se obtienen la siguiente información propia de la estadística descriptiva de datos.

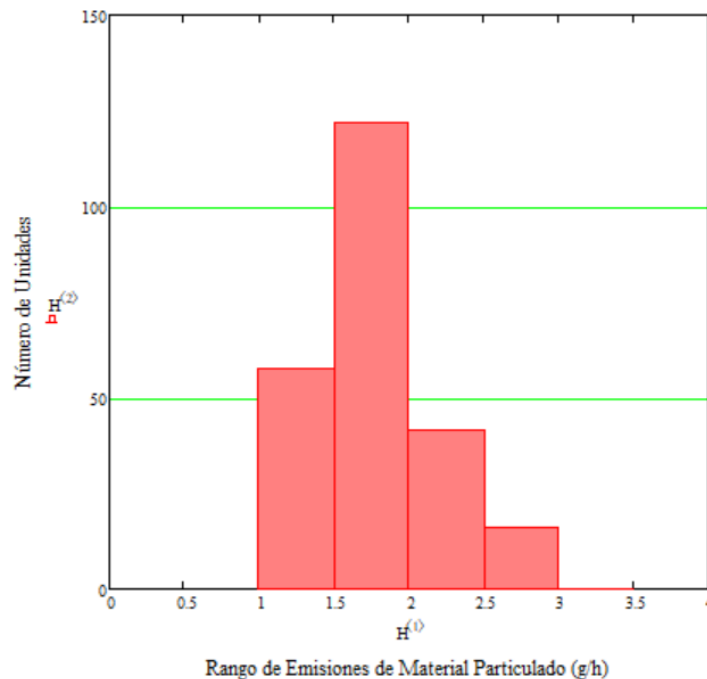
Tabla 174. Estadística descriptiva de emisiones de MP2,5, calefactores a pellets de madera

Media	1,76 g/h
Mediana	1,7 g/h
Moda	1,9 g/h
Desviación Estándar	0,37
Varianza de la Muestra	0,138
Curtosis	-0,2
Coefficiente de Asimetría	0,485
Rango	1,8 g/h
Mínimo	1,1 g/h
Máximo	2,9 g/h
Total Muestra	238
Número de Intervalos	5

Fuente: Elaboración propia en base a datos SEC

La distribución de frecuencia para calefactores a pellets de madera mediante un histograma se presenta a continuación.

Figura 94. Histograma de emisiones de MP2,5, calefactores a pellets de madera



Fuente: Elaboración propia en base a datos SEC

El histograma anterior permite observar que efectivamente existe una distribución normal para los factores de emisión de material particulado para los calefactores a pellets de madera.

Las pruebas de medidas de tendencia central son presentadas a continuación sin mayores comentarios considerando que estos solo ratifican la concentración de datos según la media y la desviación estándar.

1) Medidas de tendencia central

Tabla 175. Medidas de tendencia central, emisiones MP2,5, calefactores a pellets de madera

Media	1,76 g/h
Mediana	1,7 g/h
Moda	1,9 g/h

Fuente: Elaboración propia en base a datos SEC

2) Medidas de distribución

Las variables a considerar para este caso corresponden al coeficiente de asimetría y la curtosis que corresponden a:

Tabla 176. Medidas de distribución, emisiones MP2,5, calefactores a pellets de madera

Coefficiente de Asimetría (Skewness)	0,485
Curtosis	-0,2

Fuente: Elaboración propia en base a datos SEC

3) Concentración de datos según la media y la desviación estándar:

Como fue dicho con anterioridad, una regla empírica de una distribución normal, permite observar que aproximadamente, como máximo, el 68% de los datos se encuentran dentro del rango de 1 desviación estándar de la media. Asimismo, a veces se considera que el 95% de los datos estén dentro de 2 desviaciones estándar o 3 desviaciones estándar de la media.

Para este caso los cálculos reportan:

Tabla 177. Análisis estadístico de concentración de datos, emisiones MP2,5, calefactores a pellets de madera

Media	1,76 g/h
Desviación Estándar	0,372
$\mu - \sigma$	1,39 g/h
$\mu + \sigma$	1,73 g/h
Porcentaje de Valores menores a $\mu - \sigma$	11,3%
Porcentaje de Valores menores a $\mu + \sigma$	45%
Porcentaje de Valores entre $[\mu - \sigma ; \mu + \sigma]$	43,7%

Fuente: Elaboración propia en base a datos SEC

Una vez establecido que la distribución de datos reportados se comporta de manera normal, es posible obtener la incertidumbre o estimación del intervalo de error de la base de datos respecto de la media. El valor es obtenido sobre la base de la ecuación:

$$\bar{x} \pm t_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{s}{\sqrt{n}}$$

De esta manera, para la respectiva base de datos de calefactores a pellets de madera se obtiene los intervalos de incertidumbre de:

$$1,76 \pm 0,05 \text{ g/h}$$

De lo anterior, se considera un límite para las emisiones de 1,7 g/h para calefactores a pellets de madera.

IMPACTO DEL LÍMITE PARA EMISIONES

De la aplicación de un límite para emisiones de MP2,5, establecido en 1,7 g/h según se detalla precedentemente, se tienen los siguientes resultados:

Tabla 178. Costos acumulados de aplicar un MEPS con límite a emisiones de MP2,5, calefactores a

Localidad	Costos acumulados [USD]		
	2022	2027	2032
Talca y Maule	69.491	329.651	811.952
Chillán y Chillán Viejo	15.931	75.575	186.146
Los Ángeles	43.619	206.921	509.659
Temuco y Padre Las Casas	24.460	116.034	285.800
Valdivia	3.222	15.284	37.644
Osorno	3.725	17.670	43.523
Coyhaique	-621	-2.652	-5.810
Total	159.827	758.483	1.868.914

Fuente: Elaboración propia en base a PAMS

Tabla 179. Emisiones de MP2,5 evitadas por calefactores a pellets de madera a nivel nacional, según año

	Emisiones evitadas (Ton)
2022	7,67
2027	88,70
2032	256,17

Fuente: Elaboración propia en base a PAMS

Es importante mencionar que, en el caso de calefactores a pellets de madera, el factor de emisiones de MP2,5 es menor que en todos los casos mostrados en la Tabla 118, razón por la cual sí se verifica una reducción en las emisiones.