

ESTUDIO:

ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LA APLICACIÓN DE UNA NORMA DE EMISION PARA ARTEFACTOS DE USO RESIDENCIAL QUE COMBUSTIONAN CON LEÑA Y OTROS COMBUSTIBLES DE BIOMASA

LICITACIÓN PÚBLICA N° 1285-29-LE06

INFORME FINAL

Mandante: CONAMA

Consultor: Ambiente Consultores Ltda.

Corregido al 9 de mayo de 2007

INDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	6
1.1	ANTECEDENTES	6
1.2	OBJETIVOS GENERALES	6
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
1.4	EQUIPO DE TRABAJO	7
1.5	ESTRUCTURA DEL INFORME	8
2	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y ALCANCES DEL ANÁLISIS	9
2.1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	9
2.2	FUNDAMENTACIÓN DE LA NORMA	10
2.3	ALCANCE DEL ANTEPROYECTO DE NORMA	11
2.4	ALCANCE DEL ANÁLISIS INCLUIDO EN ESTE INFORME	13
2.5	ALCANCE TERRITORIAL	14
3	INFORMACIÓN DISPONIBLE SOBRE EL SECTOR REGULADO	15
3.1	UNIVERSO DE USUARIOS	15
3.2	CONSUMO DE LEÑA	17
3.3	UNIVERSO DE ARTEFACTOS PARA CALEFACCIÓN	19
3.4	UNIVERSO DE ARTEFACTOS PARA COCINA	21
3.5	MERCADO DE LA LEÑA	21
3.6	MERCADO DE ARTEFACTOS	23
3.7	IMPACTOS DE LAS CONCENTRACIONES DE MP SOBRE LA SALUD	25
4	TECNOLOGÍA DE LAS ESTUFAS A LEÑA	27
4.1	COMBUSTIÓN DE LEÑA	27
4.2	ASPECTOS DE DISEÑO	29
4.3	CARACTERÍSTICAS DE CALEFACTORES DE DOBLE COMBUSTIÓN DEL MERCADO ACTUAL	32
5	MODELO DE SIMULACIÓN DEL STOCK Y EMISIONES	36
5.1	NÚMERO DE CALEFACTORES	36
5.2	CLASIFICACIÓN DE CALEFACTORES SEGÚN SUS EMISIONES	39
6	OPCIONES TECNOLÓGICAS DE LAS NORMAS	47
6.1	INCIDENCIA DEL MODO DE OPERACIÓN EN LAS EMISIONES DE MP	47
6.2	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE EMISIONES	47
6.3	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS UNIDADES DE EMISIÓN	48
6.4	ESTRATEGIAS AL CONSIDERAR LOS LÍMITES	49
6.5	METAS DEL ANTEPROYECTO DE NORMA	50
6.6	POTENCIA, TASAS DE QUEMADO Y EFICIENCIA	50
6.7	CICLO DE QUEMADO, EMISIONES, TASA DE QUEMADO Y TOMA DE MUESTRAS	51
6.8	COMPARACIÓN DE MÉTODOS Y NORMAS	54
6.9	EMISIONES TÍPICAS DE EQUIPOS EXTRANJEROS	55
6.10	EMISIONES DE EQUIPOS EN EL MERCADO EN RELACIÓN A NORMAS	60
7	ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES BAJO ESCENARIOS FUTUROS	63
7.1	DEFINICIÓN DE ESCENARIOS PARA LOS 4 PERÍODOS FUTUROS	63
7.2	EMISIONES ESTIMADAS	70
8	ESTIMACIÓN DE IMPACTOS ECONÓMICOS PARA EL SECTOR PRIVADO	74
8.1	COSTOS Y BENEFICIOS PARA LOS PRODUCTORES	74
8.2	COSTOS Y BENEFICIOS PARA EL CONSUMIDOR	77
9	ESTIMACIÓN DE COSTOS DE FISCALIZACIÓN	80
10	ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS SOCIALES	80
10.1	ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS POR REDUCCIÓN DE EMISIONES	80
10.2	ESTIMACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE EL CAMBIO DE EMISIONES Y LA CALIDAD AMBIENTAL	81
10.3	BENEFICIOS UNITARIOS POR REDUCCIÓN EN CONCENTRACIONES	83
10.4	ESTIMACIÓN DEL BENEFICIO UNITARIO POR REDUCCIÓN EN EMISIONES DE MP	83
11	EVALUACIÓN DEL IMPACTO AGREGADO DE LA NORMA PROPUESTA	86
11.1	COSTOS DE INVERSIÓN BAJO DISTINTOS ESCENARIOS	86
11.2	BENEFICIOS AGREGADOS POR COSTOS DE SALUD EVITADOS	86
11.3	BENEFICIOS AGREGADOS POR COSTOS DE COMBUSTIBLE EVITADOS	89
12	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
12.1	CONCLUSIONES	91
12.2	RECOMENDACIONES	93
13	REFERENCIAS	96

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PARTICIPACIÓN DE LA LEÑA EN LOS HOGARES CHILENOS POR REGIÓN (FUENTE: UNIV. DE CHILE 2005).....	16
FIGURA 2. DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE LEÑA POR USO Y REGIÓN (U. DE CHILE 2005).....	17
FIGURA 3. CONSUMO POR HOGAR PARA DIFERENTES CIUDADES (CONAMA 2006).....	17
FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN POR TIPO Y REGIÓN DE ARTEFACTOS DE CALEFACCIÓN	20
FIGURA 5. DISTRIBUCIÓN POR REGIÓN DE COCINAS DE FIERRO (FUENTE: U. DE CHILE 2005)	21
FIGURA 6. ESQUEMA DEL FLUJO DE MATERIA Y ENERGÍA EN LA COMBUSTIÓN DE LEÑA	27
FIGURA 7. RELACIÓN ENTRE EL PODER CALORÍFICO Y EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA LEÑA	28
FIGURA 8. CONFIGURACIÓN “UPDRAFT”: EL AIRE FLUYE DESDE LAS BRASAS HACIA LA LEÑA SIN QUEMAR	30
FIGURA 9. CONFIGURACIÓN “SIDEDRAFT”: EL AIRE FLUYE DESDE LAS BRASAS HACIA LA LLAMA, SIN PASAR POR LA LEÑA	30
FIGURA 10. CONFIGURACIÓN “DOWNDRAFT”: EL AIRE FLUYE DESDE LA LEÑA SIN QUEMAR HACIA LAS BRASAS	30
FIGURA 11. SECCIÓN DE UNA ESTUFA DE DOBLE COMBUSTIÓN, BAJAS EMISIONES Y ALTA EFICIENCIA (FUENTE: CATÁLOGO EXTRANJERO).....	32
FIGURA 12. ESQUEMA DE UNA ESTUFA DE DOBLE COMBUSTIÓN NACIONAL TÍPICA (ELABORACIÓN PROPIA).....	32
FIGURA 13. RELACIÓN ENTRE EMISIONES DE MP Y TEMPERATURA DEL HOGAR (PROTERM 2005)	33
FIGURA 14. EFICIENCIA TÉRMICA DE CALEFACTORES DEL MERCADO ACTUAL (SERPRAM 2006)	34
FIGURA 15. RELACIÓN ENTRE TASA DE EMISIÓN ENERGÉTICAS Y TASAS DE QUEMADO PARA EJEMPLOS DE ARTEFACTOS NACIONALES	35
FIGURA 16. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL STOCK DESDE 1990 HASTA EL PRESENTE.....	39
FIGURA 17. RELACIÓN EMISIONES–EFICIENCIA PARA LOS EQUIPOS DE REFERENCIA DE LAS 9 CLASES (ELABORACIÓN PROPIA)	43
FIGURA 18. MODELO DE COMPOSICIÓN DEL STOCK DESDE 1990 HASTA 2006 (ELABORACIÓN PROPIA)	44
FIGURA 19. EMISIONES Y TASAS DE QUEMADO PARA 5 ARTEFACTOS EN 22 CONDICIONES DE QUEMADO DIFERENTES, VERSUS LAS CLASES DE CALIDAD PROPUESTAS (ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A ESTUDIO SERPRAM 2006).....	45
FIGURA 20. EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA, MOSTRANDO VALORES LOGRADOS POR ALGUNAS ESTUFAS NACIONALES BAJO DIFERENTES TASAS DE QUEMADO, EN ESCALA LOGARÍTMICA	46
FIGURA 21. EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE REFERENCIA EN RELACIÓN A LA META AMBIENTAL	50
FIGURA 22. DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA DE FACTORES DE EMISIÓN DE CALEFACTORES EN AUSTRALIA.....	56
FIGURA 23. DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA DE CALEFACTORES EN AUSTRALIA (2005)	57
FIGURA 24. DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA DE CALEFACTORES SEGÚN POTENCIA ÚTIL	57
FIGURA 25. COMPARACIÓN DE ENSAYOS EN CONDICIONES REALES VS ENSAYOS DE LABORATORIO EN OREGON, EE UU.....	58
FIGURA 26. DISTRIBUCIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN DE ARTEFACTOS PRE 1994 EN NUEVA ZELANDA.....	58
FIGURA 27. TASAS DE EMISIÓN DE ARTEFACTOS NACIONALES SEGÚN TASA DE QUEMADO Y TASA DE EMISIÓN (ELABORACIÓN PROPIA).....	60
FIGURA 28. DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA DE CALEFACTORES NACIONALES QUE EXCEDEN EL NIVEL EN MG/M3 (LAS FLECHAS ROJAS MARCAN LOS LÍMITES PROPUESTOS) (ELABORACIÓN PROPIA SOBRE DATOS SERPRAM 2006).....	61
FIGURA 29. DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA DE CALEFACTORES NACIONALES QUE EXCEDEN EL NIVEL EN G/HR (LAS FLECHAS ROJAS MARCAN LOS LÍMITES PROPUESTOS) (ELABORACIÓN PROPIA SOBRE DATOS SERPRAM 2006)	61
FIGURA 30. DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA DE CALEFACTORES NACIONALES QUE EXCEDEN EL NIVEL EN G/KG (LAS FLECHAS ROJAS MARCAN LOS LÍMITES PROPUESTOS) (ELABORACIÓN PROPIA SOBRE DATOS SERPRAM 2006)	62
FIGURA 31. STOCK DE ARTEFACTOS PARA EL ESCENARIO 0: LÍNEA BASE. (ELABORACIÓN PROPIA).....	68
FIGURA 32. STOCK DE ARTEFACTOS PARA EL ESCENARIO 1: ANTEPROYECTO. (ELABORACIÓN PROPIA)	68
FIGURA 33. STOCK DE ARTEFACTOS PARA EL ESCENARIO 2: WASHINGTON. (ELABORACIÓN PROPIA).....	69
FIGURA 34. STOCK DE ARTEFACTOS PARA EL ESCENARIO 3: GRADUAL. (ELABORACIÓN PROPIA).....	69
FIGURA 35. STOCK DE ARTEFACTOS PARA EL ESCENARIO 4: RETIRO ACELERADO. (ELABORACIÓN PROPIA).....	70
FIGURA 36. EMISIONES POR CLASE DE ARTEFACTO PARA EL ESCENARIO 0: LÍNEA BASE (ELABORACIÓN PROPIA)	71
FIGURA 37. EMISIONES POR CLASE DE ARTEFACTO PARA EL ESCENARIO 1: ANTEPROYECTO (ELABORACIÓN PROPIA).....	71
FIGURA 38. EMISIONES POR CLASE DE ARTEFACTO PARA EL ESCENARIO 2: WASHINGTON (ELABORACIÓN PROPIA)	72
FIGURA 39. EMISIONES POR CLASE DE ARTEFACTO PARA EL ESCENARIO 3: GRADUAL (ELABORACIÓN PROPIA)	72
FIGURA 40. EMISIONES POR CLASE DE ARTEFACTO PARA EL ESCENARIO 4: RETIRO ACELERADO (ELABORACIÓN PROPIA).....	73
FIGURA 41. CANTIDAD DE ARTEFACTOS VENDIDOS PARA DIFERENTES ESCENARIOS MODELADOS.....	76
FIGURA 42. MONTO TOTAL DE VENTAS ANUALES PARA DIFERENTES ESCENARIOS MODELADOS.....	77
FIGURA 43. COSTOS ANUALES PARA UN USUARIO BAJO CONDICIONES DEL ESCENARIO 3. (ELABORACIÓN PROPIA)	79
FIGURA 44. IMPACTO EN EL VOLUMEN TOTAL DE VENTAS SEGÚN LOS DISTINTOS ESCENARIOS	86
FIGURA 45. BENEFICIOS POR COSTOS EVITADOS EN SALUD EN ÁREAS URBANAS, PARA VALOR BAJO	87
FIGURA 46. BENEFICIOS POR COSTOS EVITADOS EN SALUD EN ÁREAS URBANAS, PARA VALOR ALTO	88

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. CUADRO DE CONTENIDOS DEL INFORME	8
TABLA 2. DESTINO DE LA BIOMASA EN CHILE	9
TABLA 3. LÍMITES MÁXIMOS DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO (MP)	12
TABLA 4. HOGARES TOTALES Y HOGARES QUE USAN LEÑA, POR USO Y REGIÓN, EN MILES	15
TABLA 5. GASTO MEDIO POR HOGAR EN LEÑA DE LAS ENCUESTAS DISPONIBLES (EN MILES DE PESOS DE 2003)	16
TABLA 6. PROYECCIÓN DE CONSUMO DE LEÑA RESIDENCIAL PARA EL AÑO 2003 (M ³ CÚBICOS SÓLIDOS) (FUENTE: SINIA 2004)	18
TABLA 7. DISTRIBUCIÓN DEL USOS DE LEÑA EN EL HOGAR PARA GRAN CONCEPCIÓN Y TEMUCO (EN NÚMERO DE HOGARES ENCUESTADOS) (FUENTE: U. DE CHILE, 2006)	18
TABLA 8. DISTRIBUCIÓN DE USOS DE LEÑA EN EL HOGAR PARA RANCAGUA, CHILLÁN, ALGUNAS COMUNAS DE LA X REGIÓN Y AYSÉN (U. DE CHILE, 2006)	19
TABLA 9. DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE LEÑA ENTRE LOS DISTINTOS ARTEFACTOS PARA LAS DISTINTAS ENCUESTAS DISPONIBLES (U. DE CHILE 2006)	19
TABLA 10. ARTEFACTOS PARA CALEFACCIÓN EN USO QUE COMBUSTIONAN LEÑA, POR TIPO Y REGIÓN, EN MILES	20
TABLA 11. DISTRIBUCIÓN POR REGIÓN DE COCINAS DE FIERRO (EN MILES EN USO AL AÑO 2003)	21
TABLA 12. CONSUMO DE LEÑA POR USO Y REGIÓN	22
TABLA 13. PORCENTAJE DE COMPRA FORMAL DE LEÑA POR REGIÓN	22
TABLA 14. PRECIO PROMEDIO DE LA LEÑA, REAL	22
TABLA 15. PRODUCCIÓN DECLARADA POR FABRICANTES DE CALEFACTORES EL AÑO 2006	23
TABLA 16. RANGOS DE PRECIOS SEGÚN FABRICANTES, CON IVA, 2004	24
TABLA 17. ENCUESTA DESARROLLO Y MODIFICACIONES DE DISEÑO DE CALEFACTORES	24
TABLA 18. COEFICIENTE DE IMPACTO MEDIO PARA SANTIAGO (NÚMERO DE EFECTOS POR CADA MICROGRAMO/M ³ DE REDUCCIÓN DE PM _{2.5} POR MILLÓN DE PERSONAS DE LA POBLACIÓN TOTAL)	25
TABLA 19. TASA DE MORTALIDAD NO ACCIDENTAL SEGÚN CAUSA Y GRUPO ETÁREO, PROMEDIO DE 2000 A 2003 (CASOS POR 100.000 HABITANTES)	26
TABLA 20. PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE LA LEÑA DURANTE LA QUEMA EN UN CALEFACTOR	29
TABLA 21. RECURSOS DE DISEÑO ORIENTADOS A MEJORAR LAS CONDICIONES DE COMBUSTIÓN	31
TABLA 22. PERÍODOS DE FORMACIÓN DEL STOCK DE CALEFACTORES Y SUPUESTOS PARA EL MODELO	36
TABLA 23. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL STOCK DE CALEFACTORES (SIMULACIÓN)	37
TABLA 24. ESCALA PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN DE ARTEFACTOS SEGÚN EMISIONES DE MP	39
TABLA 25. ARTEFACTOS DE REFERENCIA SEGÚN EMISIONES Y EFICIENCIA TÉRMICA	40
TABLA 26. FACTORES DE EMISIÓN DE LABORATORIO Y SUPUESTOS COMO REALES (ELABORACIÓN PROPIA)	41
TABLA 27. FACTORES DE EMISIÓN DE ESTUFAS BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE OPERACIÓN (FUENTE: NUSSBAUMER 2006)	42
TABLA 28. CLASES Y FACTORES DE EMISIÓN ASIGNADAS A LOS PERÍODOS DE FORMACIÓN DEL STOCK ACTUAL	43
TABLA 29. PARÁMETROS USADOS PARA EVALUAR EMISIONES DE MP DE ARTEFACTOS A LEÑA	47
TABLA 30. POTENCIA EN kW DE CALOR ÚTIL PARA DIFERENTES TASAS DE QUEMADO Y DIFERENTES EFICIENCIAS TÉRMICAS	51
TABLA 31. VALORES DE EMISIÓN EN MG/M ³ , PARA TASA DE EMISIÓN TE EN G/HR VS TASA DE QUEMADO EN KG/HR	53
TABLA 32. RESUMEN DE NORMATIVAS SOBRE ENSAYOS DE ARTEFACTOS A LEÑA	54
TABLA 33. CARACTERIZACIÓN DE ARTEFACTOS SEGÚN EMISIONES, EN CANADÁ	56
TABLA 34. FACTORES REALES DE EMISIÓN DE EQUIPOS POST 1994 EN NUEVA ZELANDA	59
TABLA 35. FACTORES DE EMISIÓN UTILIZADOS EN PAÍSES NÓRDICOS SEGÚN TECNOLOGÍA	59
TABLA 36. FACTORES DE EMISIÓN Y EFICIENCIA TÉRMICA UTILIZADOS EN LA MODELACIÓN	64
EN LA TABLA SIGUIENTE SE MUESTRA UN RESUMEN DE LOS PARÁMETROS DE SIMULACIÓN PARA CADA ESCENARIO. TABLA	
37. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA 5 ESCENARIOS FUTUROS MODELADOS	64
TABLA 38. EVOLUCIÓN DEL STOCK DE ARTEFACTOS PARA LOS 5 ESCENARIOS MODELADOS	67
TABLA 39. MODELACIÓN DE EMISIONES EN MILES DE TON SEGÚN ESCENARIO	70
TABLA 40. COSTOS DE PRODUCCIÓN ESTIMADOS SEGÚN CLASE DE ARTEFACTO	74
TABLA 41. PROYECCIÓN DE VENTAS DE CALEFACTORES BAJO LOS 5 ESCENARIOS, EN UNIDADES	75
TABLA 42. PROYECCIÓN DE VENTAS DE CALEFACTORES BAJO LOS 5 ESCENARIOS, EN US\$	76
TABLA 43. COSTO ANUALIZADO DEL USO DE 1 ARTEFACTO A LEÑA, POR CLASE DE CALIDAD	78
TABLA 44. COSTO ANUALIZADO DEL USO DE 1 ARTEFACTO A GAS LICUADO	79
TABLA 45. EMISIONES ANUALES DE MP EN DIVERSAS CIUDADES QUE DISPONEN DE UN INVENTARIO DE EMISIONES (TON/ANO)	81
TABLA 46. PROMEDIO ANUAL DE PM ₁₀ EN DIVERSAS CIUDADES (UG/M ³)	82
TABLA 47. COEFICIENTES DE ROLL-BACK SIMPLE PARA DIFERENTES LOCALIDADES	82
TABLA 48. BENEFICIOS UNITARIOS POR PERSONA Y UG/M ³ DE CONCENTRACIONES DE PM ₁₀ Y PM _{2.5}	83
TABLA 49. BENEFICIOS UNITARIOS POR PERSONA Y UG/M ³ DE CONCENTRACIONES	85
TABLA 50. RESUMEN DE BENEFICIOS UNITARIOS (US\$/TON MP)	85

TABLA 51. IMPACTO EN EL TOTAL DE VENTAS ANUALES, SEGÚN ESCENARIO (ELABORACIÓN PROPIA)	86
TABLA 52. EMISIONES ANUALES EN ÁREAS URBANAS, EN MILES DE TONELADAS	87
TABLA 53. COSTOS EN SALUD EVITADOS ANUALES, EN ÁREAS URBANAS, EN MILLONES DE US\$, PARA EL VALOR BAJO DE 13.762 US\$/TON MP	87
TABLA 54. COSTOS EN SALUD EVITADOS ANUALES, EN ÁREAS URBANAS, EN MILLONES DE US\$, PARA EL VALOR ALTO DE 105.813 US\$/TON MP	88
TABLA 55. CONSUMO DE LEÑA TOTAL PAÍS EN TON	89
TABLA 56. ENERGÍA DE CALEFACCIÓN SUMINISTRADA POR LEÑA, TOTAL PAÍS EN GWH/AÑO	89
TABLA 57. DÉFICIT DE ENERGÍA POR MENOR USO DE LEÑA REF. ESCENARIO 0, EN GWH/AÑO	90
TABLA 58. GASTO ADICIONAL EN COMBUSTIBLE EN CALEFACCIÓN ALTERNATIVA, EN US\$	90
TABLA 59. ESCALA DE EMISIONES PROPUESTA	94

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El presente informe corresponde a los resultados del estudio “Análisis técnico-económico de la aplicación de una norma de emisión para artefactos de uso residencial que combustionan con leña y otros combustibles de biomasa”, dentro del proceso de dictación de normas conducido por la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

De acuerdo al *Reglamento para la dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión* (DS 93/95 del Ministerio SEGPRES), este estudio debe dar cuenta de los siguientes aspectos:

- factibilidad técnica y económica de la norma para los distintos emisores,
- costos y beneficios de la aplicación de la norma para la población directamente afectada
- costos y beneficios de la aplicación de la norma para el o los emisores que deberán cumplir la norma
- costos y beneficios para el Estado como responsable de la fiscalización y el cumplimiento de la norma
- impactos sociales de la aplicación de la futura norma.

Los términos de referencia del estudio detallados se encuentran en el documento “Términos de Referencia Técnico Económico Estufas.doc” y el texto del anteproyecto de norma en el documento “anteproynorma_artefactosleña(v05).doc”, incluido en Anexo 1 de este Informe Final.

La fundamentación del anteproyecto de norma señala que su dictación es imperativa dado que “...el uso de leña para calefacción es de carácter masivo en toda la zona centro sur del país. Se espera que futuras demandas de energía para calefacción con leña generen o intensifiquen los problemas de contaminación del aire en numerosas ciudades. En este escenario, es necesario actuar de manera preventiva y correctora.”

En este contexto, la norma constituye un instrumento preventivo y correctivo, que actuará complementariamente con otros instrumentos como son los Planes de Descontaminación Ambiental en zonas saturadas, el Manual de Uso del Combustible Leña, el Sistema de Certificación de Leña, el Programa de Reacondicionamiento Térmico de Viviendas, entre otros orientados a reducir los impactos del uso residencial de leña.

1.2 Objetivos generales

Los objetivos generales hacia los que se orienta el estudio son los siguientes:

- Contar con información de carácter económico y social que sirva como antecedente para la toma de decisiones respecto de opciones e implicancias de la presente regulación.
- Contar con una evaluación técnico-económica completa del Anteproyecto de Norma y de sus alcances sociales, considerando los siguientes agentes: emisores, fiscalizadores, población usuaria de equipos y/o expuesta a la contaminación, y otros si se identificaren.

1.3 Objetivos específicos

Los objetivos específicos que se espera lograr como resultados de este estudio son los siguientes:

- Caracterizar los impactos tecnológicos en los sectores productivos debido a la aplicación de la normativa propuesta a nivel de anteproyecto en los componentes descritos, considerando tipología de equipos existentes y aquellos factibles, técnica y económicamente de estar disponibles en el mercado nacional y sus características de emisión de MP (material particulado).
- Evaluar los costos asociados a la implementación del anteproyecto de norma: a nivel de fabricantes y usuarios de equipos calefactores sujetos a la regulación, evaluando los efectos distributivos generados por los gastos adicionales, y sistema de monitoreo y fiscalización.
- Identificar los beneficios asociados a la implementación del anteproyecto de norma, tanto desde el punto de vista privado como social en forma especialmente relevante.
- Apoyar la definición de valores y de gradualidad de la norma a través del estudio de su impacto técnico y económico, evaluando y sensibilizando el efecto económico y social que tiene el grado de exigencia elegido y las medidas de flexibilidad y gradualidad de cumplimiento de la norma.
- Realizar una evaluación económica considerando los costos y beneficios determinados previamente.

1.4 Equipo de trabajo

El equipo de trabajo del consultor estuvo formado por:

- Eugenio Collados, Ing. Civil, CEM, Jefe de Proyecto
- Héctor Montoya, Ing. Civ. Mecánico, Mag. Ing. Mecánica
- Luis Cifuentes, Ing. Industrial, PhD
- John Adgate, PhD Environmental Health
- Pablo Ulriksen, Ing. Forestal, Mag. Gestión Tecnológica ©

El equipo de trabajo de la contraparte estuvo formado por:

- Carmen Gloria Contreras, Ing. Civil en Geografía, Depto. Control de la Contaminación, CONAMA
- Maritza Jadrijevic, Ing. Civil Químico, Depto. Control de la Contaminación, CONAMA
- Cecilia Barrios, Ing. Civil Mecánico, Depto. Control de la Contaminación, CONAMA Región Metropolitana
- Nicolás Schiappacasse, Dr. en Química, Depto. Control de la Contaminación, CONAMA Región de la Araucanía
- Marco Luraschi, Economista, Asesor CONAMA
- Juan Ladrón de Guevara, Ing. Agrónomo, Ministerio de Economía

1.5 Estructura del informe

El informe se estructura en 14 capítulos, cuyos contenidos se describen en el cuadro siguiente.

Tabla 1. Cuadro de contenidos del informe

CAPITULO	CONTENIDO
3. Descripción del problema y alcances del análisis	En este capítulo se señalan los antecedentes que hacen necesario la dictación de la norma y los temas principales que se analizan en este informe
4. Información disponible sobre el sector regulado	En este capítulo se resume la información disponible sobre los usuarios y el mercado de artefactos a leña
5. Tecnología de las estufas a leña	En este capítulo se describe el proceso de combustión y los principales componentes de una estufa que determinan sus emisiones
6. Modelo de simulación del stock y emisiones	En este capítulo se explica el método para representar el stock de artefactos existente y su composición por tipo, cantidad y edad
7. Opciones tecnológicas de las normas	En este capítulo se analizan los diferentes parámetros que se consideran en las normas
8. Estimación de las emisiones bajo escenarios futuros	En este capítulo se desarrollan hipótesis de evolución del mercado y su incidencia sobre las emisiones hasta el año 2020
9. Estimación de impactos para el sector privado	En este capítulo se evalúan los efectos sobre los fabricantes de artefactos y sobre usuarios de artefactos a leña, derivados de la norma
10. Estimación de costos de fiscalización	En este capítulo se estiman los costos para el sector público por fiscalización derivada de la aplicación de la norma
11. Estimación de beneficios sociales	En este capítulo se evalúan los beneficios por costos evitados en salud por las menores emisiones derivadas de la aplicación de la norma
12. Evaluación del impacto agregado de la norma propuesta	En este capítulo se presenta un balance de los diferentes impactos, a nivel país
13. Conclusiones y recomendaciones	En este capítulo se resumen las conclusiones del estudio y las recomendaciones que surgen de los resultados
14. Referencias	En este capítulo se entrega una lista de las principales referencias consultadas

2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y ALCANCES DEL ANÁLISIS

2.1 Definición del problema

En primer lugar, el uso de leña es un componente importante en la matriz energética de Chile, alcanzando un 16% del total. De este consumo, una parte mayoritaria es usada en el sector residencial. Asimismo, la biomasa es un componente importante de las emisiones atmosféricas en Chile. El destino y aprovechamiento de la biomasa se caracteriza en el cuadro siguiente (Fuente: CONAMA, 2005)

Tabla 2. Destino de la biomasa en Chile

TIPO	VOLUMEN ANUAL (Millones de toneladas)	USO ACTUAL
Desechos industria forestal	2,5	Co-generación, Secado
Rastrojos agrícolas	3,5	Quema
Leña	8	Calefacción, Cocinar
Carbón vegetal	0,24	Calefacción, Cocinar
Desechos de cosecha forestal	?	Descomposición in situ

El uso residencial de leña, es decir, para cocinar y calefaccionar a nivel doméstico, presenta en Chile varias características propias que lo hacen particularmente complejo:

- Tiene un patrón de uso que está fuertemente arraigado culturalmente por su tradición ancestral como fuente de calefacción y cocción de alimentos
- Utiliza un recurso energético local, de creciente competitividad comercial frente a combustibles foráneos no renovables
- Sus impactos sobre la salud están fuertemente asociados a la concentración urbana por la saturación de la capacidad de dispersión atmosférica
- La distribución territorial tiene un fuerte sesgo social y regional, concentrándose especialmente donde la leña es el combustible más barato o el único accesible para muchos hogares

En consecuencia, no existe un modelo simple que represente la dinámica de estos componentes ni la reacción ante medidas reguladoras. Tampoco existe suficiente información para establecer claras correlaciones, a pesar de que en la última década se ha creado una substancial base de información de causas y efectos sobre la salud derivadas de la contaminación atmosférica.

La tendencia histórica de disminución del consumo de leña en el contexto urbano, relegando el uso tradicional a los sectores rurales, a favor de artefactos “modernos” se ha revertido bruscamente a partir de la crisis del gas de 2003 y del escalamiento de precios de otros combustibles, mostrando un incremento.

En estas condiciones actuales, por lo tanto, no cabe una restricción al uso de leña como medida correctiva de los efectos de la salud, ya que los combustibles alternativos son cada vez más escasos, costosos y sujetos a inestabilidades del mercado internacional.

Por otra parte, la tecnología de los artefactos y los hábitos de uso de la leña presentan enormes diferencias en cuanto a emisiones de material particulado, en un rango del orden

de 1 a 1000. Por lo tanto existe un amplio margen tecnológico que permite esperar una disminución substancial de las emisiones futuras, si se logra vencer la resistencia cultural a cambiar los hábitos tradicionales y se acelera la lenta tasa de recambio de los artefactos a leña, dificultada por la larga vida útil de los artefactos.

Al mismo tiempo, la institucionalidad que regula el uso residencial de leña no está definida, correspondiendo parcialmente a los ámbitos de la Comisión Nacional de Energía (CNE), la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), el Ministerio de Salud y el Instituto Nacional de Normalización (INN). En estos sectores, el combustible leña está menos regulado que otros combustibles.

En consecuencia, los roles mínimos que debe cumplir la norma son:

- Definir un parámetro representativo de las emisiones de material particulado por combustión de leña, apropiado para reflejar los efectos sobre la salud
- Definir las condiciones de ensayo que representen las condiciones de uso de los artefactos a leña
- Definir un método de ensayo para medir los parámetros de emisión de un artefacto
- Definir un índice de calidad de los artefactos, calculado a partir de los resultados de los ensayos
- Definir los umbrales máximos de emisiones y sus fechas de entrada en vigencia para comercializar artefactos
- Definir los procedimientos de fiscalización respectivos

Además, la norma tendrá otros efectos positivos indirectos:

- La sustentabilidad ambiental, al estimular el desarrollo de tecnologías más limpias
- La sustentabilidad energética, al estimular la eficiencia energética y mejorar el uso de un recurso renovable, no dependiente de otros países
- La competitividad en el sector, al mejorar la información de los productos en el mercado de artefactos

2.2 Fundamentación de la norma

La necesidad de dictación de una norma que regula la comercialización de artefactos a leña se basa en los siguientes considerandos:

" Que de acuerdo a la ley 19.300, es deber del Estado dictar normas, tanto de calidad como de emisión, que regulen la presencia de contaminantes en el medio ambiente, con el fin de prevenir que éstos puedan significar o representar, por sus niveles, concentraciones o periodos de tiempo, un riesgo para la salud de las personas, la calidad de vida de la población, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental.

Que el uso de leña para calefacción es de carácter masivo en toda la zona centro sur del país. De acuerdo a información de encuestas de mercado, se espera que futuras demandas de energía para calefacción con leña generen o intensifiquen los problemas de contaminación del aire en numerosas ciudades de distintos tamaños. En este escenario, es necesario actuar de manera preventiva y correctora.

Que resultados de mediciones de calidad del aire, exploratorios y oficiales, de material particulado fracción respirable MP10 y fracción fina MP2.5, en varios centros urbanos de la zona centro y sur del país, muestran incrementos significativos de este contaminante durante el invierno, lo cual tiene directa relación con los estándares fijados en la norma primaria de MP10, establecidos en el D.S. N° 59/98 del MINSEGPRES, que tiene por objeto la protección de la salud de las personas.

Que el material particulado proveniente de la combustión de leña es altamente dañino a la salud, tanto por su tamaño como por su composición. Entre sus componentes están en una proporción cercana al 90%, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y compuestos orgánicos, el 10% restante corresponde a carbono elemental (hollín) y menos del 1% corresponde a compuestos inorgánicos (Ca, K, Na, Cl, S) que forman sales corrosivas (KCl, K₂SO₄, entre otras). Del total de material particulado cerca del 90% presenta una distribución de tamaño menor a 1 micrómetro (μm). De acuerdo a estudios epidemiológicos de efectos adversos del material particulado fino, los efectos son de corto y largo plazo, afectando el sistema respiratorio y cardiovascular de los grupos sensibles de la población, como niños y adultos mayores (Ref.: Organización Mundial de la Salud, 2005).

Que regular las emisiones de material particulado producto de la combustión residencial de leña, se justifica por los problemas ambientales que actualmente experimentan o experimentarán centros poblados del país. Particularmente, en los casos de Temuco y Padre Las Casas, se estima que la combustión de leña aporta en más del 70% a las emisiones de material particulado; en el caso del Gran Concepción la combustión de leña aporta cerca de un 25% (Ref.: CONAMA, 2006).

Que la primera pauta que regula los artefactos de combustión a leña es el Decreto Supremo 811 del año 1993, del Ministerio de Salud, de aplicación en la Región Metropolitana. Esta norma prohíbe el uso de las chimeneas de hogar abierto, destinadas a la calefacción de viviendas y establecimientos públicos y privados. Siendo, imperativo contar con un instrumento de gestión ambiental de alcance nacional que regule las emisiones de los artefactos de uso residencial que combustionen con leña o biomasa, como un método eficiente de control de las emisiones de MP10.

Que en el ámbito de regulación internacional de las emisiones de los artefactos de combustión a leña, existe comprobada experiencia y desarrollo de estándares de emisión y de tecnología que cumple con la aplicación de dichos estándares, no sólo de material particulado, sino que también de otros contaminantes y parámetros de interés ambiental."

2.3 Alcance del anteproyecto de norma

La norma regula los artefactos que cumplen la siguiente definición: "calefactor o cocina que combustiona o puede combustionar biomasa, fabricado o construido o armado, en el país o importado, nuevo o existente, que tiene una potencia de ingreso de hasta 70kW, de alimentación manual o automática, de combustión abierta o cerrada, que proporciona calor en el espacio en que se instala, que esta provisto de un ducto para la evacuación de gases al exterior"

Se excluyen de la aplicación de la norma los sistemas centralizados o calderas de calefacción, las chimeneas de albañilería empotradas a la pared y los braseros y parrillas usadas con fines de esparcimiento.

A su vez, dentro de los artefactos regulados, se distinguen 2 categorías:

- a. Artefactos existentes, que a la fecha de entrada en vigencia de la norma se encuentren en alguna etapa de su comercialización. Estos artefactos estarán afectados a caracterizar e informar sus emisiones, mediante los procedimientos establecidos en la norma.
- b. Artefactos nuevos, que no han sido distribuidos para su comercialización y/o se fabricarán, armarán en el país o se importarán. Estos artefactos estarán afectados a límites a partir de los plazos que el anteproyecto señala.

Los artefactos nuevos quedan afectados a límites máximos de emisiones de material particulado y, además, quedan sujetos a la obligación de informar sus emisiones de monóxido de carbono y eficiencia térmica.

Los límites de emisiones para artefactos nuevos se aplican en forma escalonada de acuerdo a un calendario y tipo de artefacto, como muestra la tabla siguiente:

Tabla 3. Límites máximos de emisiones de material particulado (MP)

Artefacto Nuevo	Plazo de cumplimiento	Valor	Unidad
Del tipo calefactor	A contar del 12° mes desde la entrada en vigencia del presente decreto	100	mg/m ³ N corregido al 13% de oxígeno (O ₂) en volumen
	A contar del 48° mes desde la entrada en vigencia del presente decreto	60	mg/m ³ N corregido al 13% de oxígeno (O ₂) en volumen
Del tipo cocina	A contar del 18° mes desde la entrada en vigencia del presente decreto	100	mg/m ³ N corregido al 13% de oxígeno (O ₂) en volumen.

La forma de acreditar el cumplimiento de la norma es a través del ensayo en laboratorio de un artefacto representativo del modelo acreditado, cumplimiento que se hace extensivo al conjunto de artefactos que tienen características idénticas en cuanto a todas sus dimensiones, espesores y materiales.

Los métodos de medición son los métodos CH-5G, CH-28 y CH-3A, oficializados por MINSAL.

Además, la norma regula los siguientes aspectos:

- condiciones para acreditar cumplimiento de norma
- procedimiento para acreditar el cumplimiento de la presente norma
- antecedentes técnicos descriptivos que el fabricante o representante de la empresa o importador debe acompañar
- declaración que el fabricante o representante de la empresa o importador debe acompañar
- las funciones que tendrán los laboratorios autorizados
- los contenidos y formato que deberán tener los informes de medición que emitirá el laboratorio autorizado
- la función que tendrá el Instituto de Salud Pública
- la información que contendrá la resolución de aprobación o rechazo de emisiones

- las características de la etiqueta que se deberá incorporar a cada artefacto
- la información que deberá incluir el manual de uso o instalación de cada artefacto nuevo
- la función que tendrá el Ministerio de Salud de confeccionar y mantener actualizado un registro nacional de modelos

2.4 Alcance del análisis incluido en este informe

Dado que el anteproyecto de norma debiera reflejar los resultados de este propio análisis, los escenarios a evaluar no se limitarán a lo establecido en el anteproyecto, sino también incluirán alternativas en su implementación, tales como:

- Diferente cantidad de límites a aplicar
- Diferente profundidad del cambio entre un límite y el siguiente
- Diferente gradualidad en los períodos de aplicación de los límites
- El análisis cubrirá un horizonte de tiempo hasta el año 2020.

Por lo tanto, este análisis incluye varios escenarios alternativos, con límites y plazos diferentes de lo estipulado por el anteproyecto de norma.

El análisis se limitará a utilizar los datos disponibles, sin considerar la generación o recopilación de nuevos datos.

En cuanto al tipo de artefactos, aún cuando la norma es aplicable hasta potencias de 70 kW, en el análisis no se consideran calderas ni hornos, sino solamente los siguientes artefactos regulados:

- Salamandras
- Estufas de combustión simple
- Estufas de combustión doble
- Cocinas

El estudio se centrará en los calefactores de doble combustión, ya que no existe suficiente información sobre el resto de los artefactos y, aparentemente, el mercado no sería significativo. Se hace, por lo tanto un supuesto en el sentido que el parque de artefactos se mantiene constante para artefactos que no sean calefactores de doble combustión.

Este estudio se complementa con otro estudio sobre los aspectos metodológicos y de procedimientos asociados a la norma, que servirán como antecedentes para la toma de decisiones respecto al proyecto de regulación.

Dicho estudio contiene:

- Un análisis del método CH-28 y AS/NZS 4012 para definir las condiciones en que se realizan los ensayos de emisiones
- Un análisis de los criterios para verificar cumplimiento o no de la norma de emisión
- Una propuesta de un método indirecto para medir la eficiencia térmica de los artefactos que combustionan leña
- Un análisis de la pertinencia de homologación de certificados de medición internacionales.

2.5 Alcance territorial

El anteproyecto de norma es aplicable en todo el territorio nacional, ya que actúa sobre la comercialización de artefactos, independiente de dónde sean instalados.

Para las regiones I, II y III no existe información sobre leña en los balances CNE ni en el inventario SINIA. La única referencia es la encuesta CNE, 2005, que reporta un 0,4% de los hogares en Antofagasta que consumen leña.

Por lo tanto, en consideración a la escasa información disponible y a los bajos índices de uso de leña, se excluirán del análisis las regiones I, II y III del país. Todas las restantes regiones se incluyen en el análisis.

Dentro de estas regiones, se observan diferencias significativas respecto del uso que se da a la leña, el tipo de combustible, la cantidad consumida, entre otras, por lo que, en lo posible, se diferencia por regiones el análisis, en la medida que se cuenta con información desagregada.

En particular, dado que entre la VI y la XI regiones más de la mitad de los hogares consumen leña, el estudio valora especialmente los impactos de la norma en las áreas urbanas de dichas regiones.

3 INFORMACIÓN DISPONIBLE SOBRE EL SECTOR REGULADO

Los actores y variables que deben ser descritos para caracterizar el sector regulado son:

- Los usuarios que consumen leña para usos residenciales
- El mercado de la leña
- Los artefactos regulados que combustiónan leña
- Las emisiones generadas por la combustión residencial de leña
- La población afectada por la contaminación atmosférica
- Los efectos sobre la salud y el sistema de salud derivados de la contaminación atmosférica

A continuación se sintetiza la información disponible sobre estos actores en la actualidad o en el pasado reciente.

3.1 Universo de usuarios

El universo de usuarios que se considera en el estudio son los hogares que usan alguno de los artefactos regulados por la norma, es decir, de uso residencial que combustiónan leña. No se consideran artefactos no regulados, tales como braseros, parrillas u otros.

Tabla 4. Hogares totales y hogares que usan leña, por uso y Región, en miles

REGION	IV	V	RM	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Hogares totales	167	441	1.657	214	252	503	238	296	26	43
Hogares que cocinan con leña	10,5	7,5	11,6	20,5	29,5	90,5	121,9	190,3	18,7	1,9
% Hogares que cocinan con leña	6,3	1,7	0,7	9,6	11,7	18,0	51,2	62,3	71,9	4,4
Hogares que calefaccionan con leña	42,5	55,2	70,2	167,1	174,5	223,3	91,4	140,6	18,2	15,3
% Hogares que calefaccionan con leña	25,5	12,5	4,2	78,1	69,2	44,4	38,4	47,5	70,0	35,6
Fuente: Estudio Univ. de Chile 2005										

HOGARES QUE USAN LEÑA

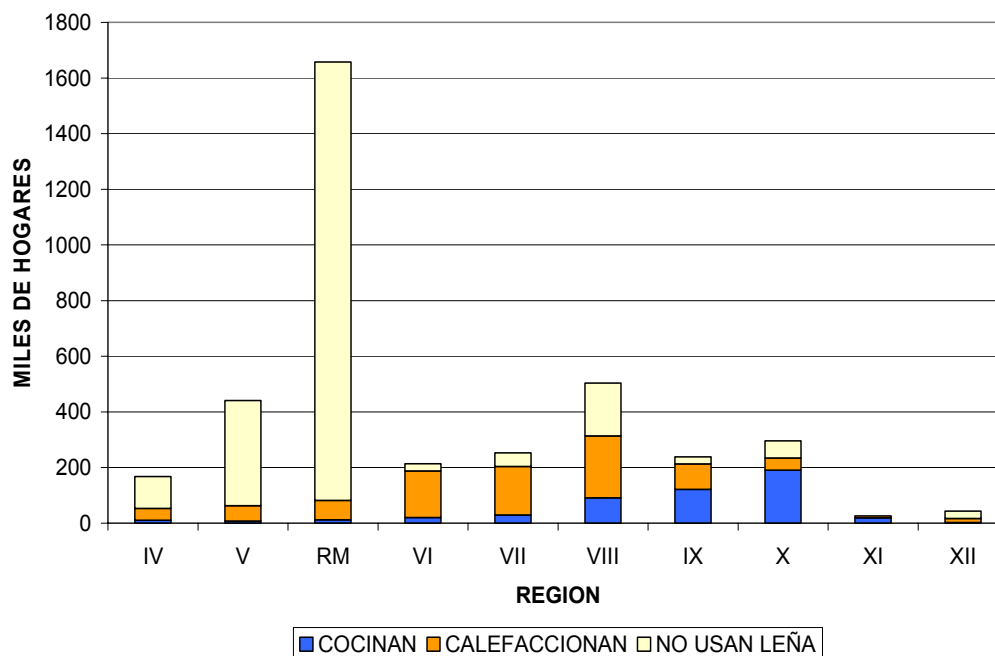


Figura 1. Participación de la leña en los hogares chilenos por región (Fuente: Univ. de Chile 2005)

En algunas de estas regiones se cuenta con información sobre el gasto anual que realizan los hogares en combustible leña. A pesar que el precio de la leña disminuye hacia el Sur, el gasto anual aumenta. Nótese la relación con el costo de un artefacto nuevo, típicamente entre \$ 100.000 y \$ 200.000 el año 2006, para verificar la alta incidencia que tiene el combustible en el presupuesto doméstico.

Tabla 5. Gasto medio por hogar en leña de las encuestas disponibles (en miles de pesos de 2003)

REGION	MILES \$/AÑO
VI	46
VIII	93
IX	94
X	108
XI	277
Fuente: Estudio U. de Chile 2005	

3.2 Consumo de leña

Las estadísticas de consumo de leña se resumen en los gráficos siguientes:

CONSUMO DE LEÑA RESIDENCIAL

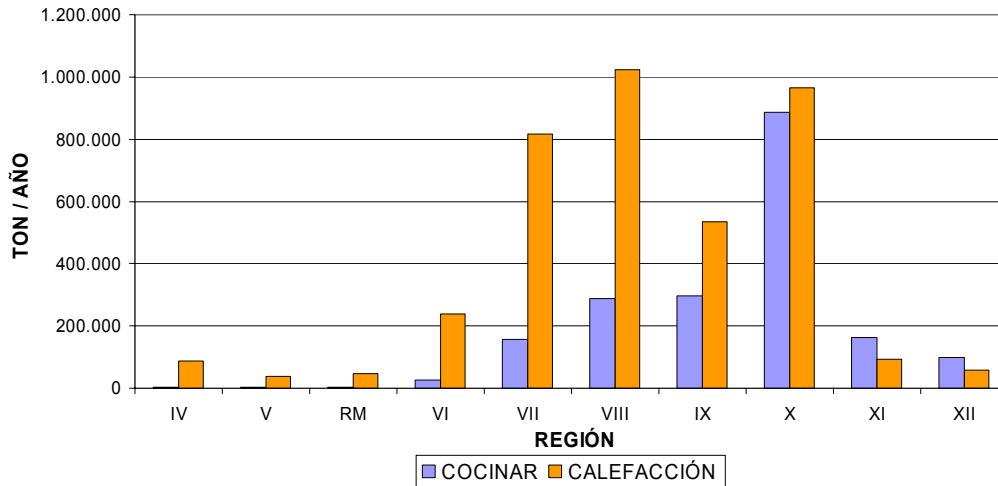


Figura 2. Distribución del consumo de leña por uso y región (U. de Chile 2005)

El consumo supera las 100.000 toneladas por año entre las VI y XII regiones, para cocinar y supera las 100.000 toneladas por año entre la VI y la XI regiones, para calefacción.

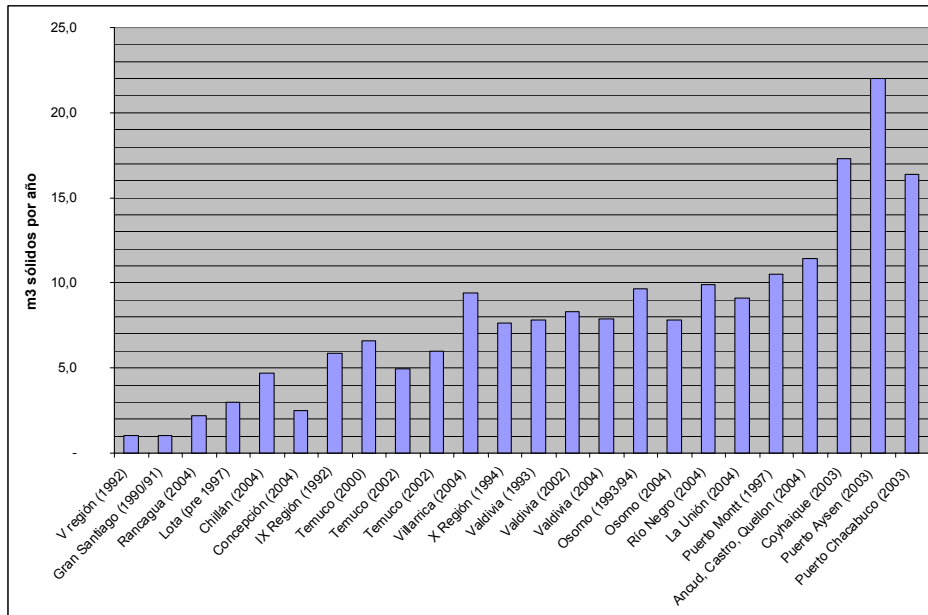


Figura 3. Consumo por hogar para diferentes ciudades (CONAMA 2006)

El consumo es creciente con la latitud, lo que está directamente asociado al uso calefacción, independientemente del artefacto usado.

Las emisiones que contribuyen a bajar los niveles de calidad del aire son, principalmente, aquellas que ocurren en áreas urbanas, por lo que es necesario distinguir los consumos que se producen en áreas urbanas y rurales.

Tabla 6. Proyección de Consumo de leña residencial para el año 2003 (m³ cúbicos sólidos) (Fuente: SINIA 2004)

REGION	URBANO	DESV EST	RURAL	DESV EST	TOTAL	DESV EST
I						
II						
III						
IV	24.735	1.344	134.025	3.672	158.760	3.910
V	13.356	444	55.775	2.656	69.131	2.693
VI	100.690	4.254	368.193	10.598	468.883	11.420
VII	433.309	9.509	1.303.929	25.558	1.737.238	27.270
VIII	798.465	23.305	1.542.549	53.312	2.341.014	58.183
IX	461.674	24.956	1.023.390	35.439	1.485.064	43.344
X	1.272.355	23.376	2.030.572	33.250	3.302.928	40.645
XI	356.234	9.689	103.045	2.870	459.280	10.105
XII	257.738	14.204	23.740	1.054	281.477	14.243
RM	82.470	1.650	7.663	384	90.133	1.694
Nacional	3.801.027	46.056	6.592.881	77.455	10.393.908	90.114

El consumo de leña se destina principalmente a calefacción y, en las regiones del Sur, a ambos usos, posiblemente con el mismo artefacto.

Tabla 7. Distribución del usos de leña en el hogar para Gran Concepción y Temuco (en número de hogares encuestados) (Fuente: U. de Chile, 2006)

Utiliza leña para	Gran Concepción		Temuco	
	No de Hogares	Proporcion	No de Hogares	Proporcion
Cocinar	6	0,6%	1.187	2,9%
Calentar agua	0	0,0%	102	0,2%
Calefacción	780	81,8%	25.812	62,7%
Cocinar y Calentar	0	0,0%	161	0,4%
Cocinar y Calefacción	138	14,5%	6.579	16,0%
Calentar y Calefacción	7	0,7%	1.979	4,8%
Todo	22	2,3%	5.342	13,0%
Total	953	100,0%	41.162	100,0%

Tabla 8. Distribución de usos de leña en el hogar para Rancagua, Chillán, algunas comunas de la X Región y Aysén (U. de Chile, 2006)

Utiliza leña para	Rancagua		Chillán		Valdivia, Osorno, etc.		Aysén	
	m3 sol consumidos	Proporción	m3 sol consumidos	Proporción	m3 sol consumidos	Proporción	m3 sol consumidos	Proporción
Cocinar	3	0,6%	56	6,1%	245.249	25,9%	2.420	23,4%
Calentar agua	0	0,0%	39	4,3%	217.587	23,0%	1.265	12,2%
Calefacción	473	99,4%	827	89,7%	484.276	51,1%	6.655	64,4%
Total	476	100,0%	922	100,0%	947.111	100,0%	10.341	100,0%

Tabla 9. Distribución del consumo de leña entre los distintos artefactos para las distintas encuestas disponibles (U. de Chile 2006)

Artefacto que utiliza leña	Rancagua		Gran Concepción		Chillán		Temuco		Valdivia, Osorno, etc.		Aysén	
	m3 sólidos consumidos	Proporción	m3 sólidos consumidos	Proporción	m3 sólidos consumidos	Proporción	m3 sólidos consumidos	Proporción	m3 sólidos consumidos	Proporción	m3 sólidos consumidos	Proporción
Cocina de fierro	4	0.8%	4,133	41.3%	142	15.4%	83,249	44.0%	298,242	56.4%	2,171	51.7%
Salamandra	68	14.4%	922	9.2%	192	20.9%	19,196	10.1%	36,460	6.9%	147	3.5%
Estufa Combustión simple	140	29.6%	2,204	22.0%	284	30.8%	31,507	16.6%	72,227	13.7%	982	23.4%
Estufa Combustión doble entrada de aire	189	39.8%	2,211	22.1%	236	25.6%	55,323	29.2%	96,496	18.3%	806	19.2%
Chimenea	59	12.4%	510	5.1%	21	2.3%	0	0.0%	13,787	2.6%	59	1.4%
Brasero	5	1.0%	18	0.2%	4	0.5%	0	0.0%	2,014	0.4%	12	0.3%
Estufa	3	0.7%	13	0.1%	33	3.5%	0	0.0%	0	0.0%	20	0.5%
Fogón	0	0.0%	8	0.1%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Otro	5	1.1%	0	0.0%	10	1.0%	0	0.0%	9,226	1.7%	0	0.0%
Total	474	100.0%	10,019	100.0%	922	100.0%	189,275	100.0%	528,452	100.0%	4,198	100.0%

Entre los artefactos para calefacción, evidentemente la estufa de doble combustión es la de mayor uso. Entre la VI y IX regiones, la leña se consume prioritariamente para calefaccionar. En la X y XI regiones, aparece un consumo mayoritariamente para cocinar.

Sin embargo, si se consideran los consumos por hogar, estos son notoriamente mayores hacia el Sur, lo que indica que las cocinas se usan para el doble propósito de cocinar y calefaccionar, ya que no habría razón para tal incremento de consumo por hogar para cocinar.

3.3 Universo de artefactos para calefacción

Al año 2006, el parque de calefactores entre las regiones IV a XII es del orden de 1 millón de unidades, distribuida principalmente entre las regiones VI y X. No se incluyen en esta estimación los braseros, fogones u otros calefactores no regulados por el anteproyecto de norma.

ARTEFACTOS DE CALEFACCIÓN A LEÑA EN USO (2003)

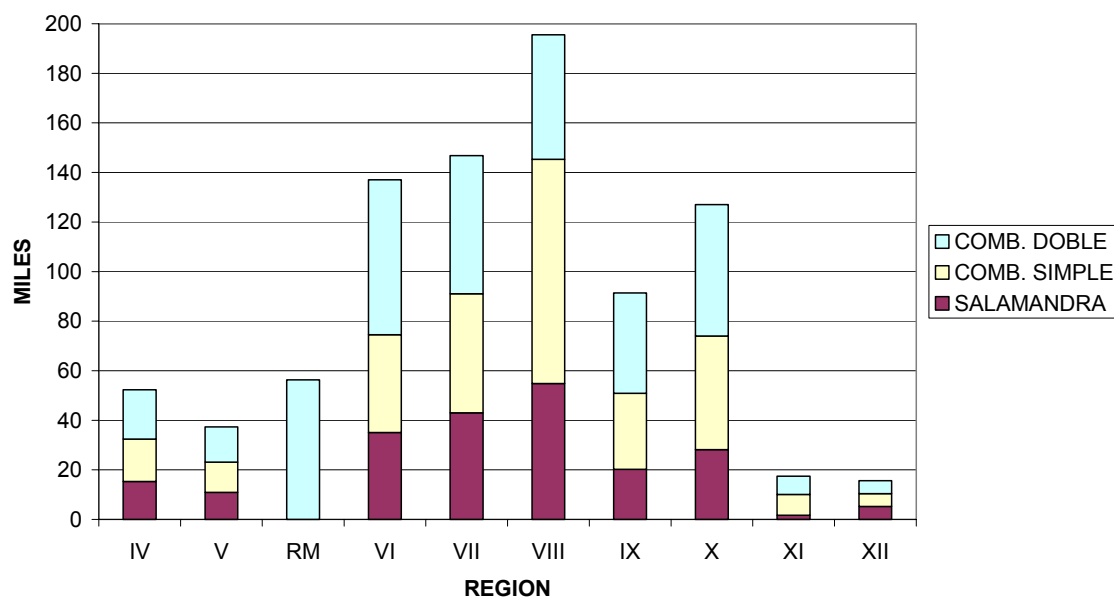


Figura 4. Distribución por tipo y Región de artefactos de calefacción

(Fuente: Para la Región Metropolitana se utilizan datos del estudio Gamma 2006. En la encuesta de la Región Metropolitana no se declararon artefactos de combustión simple, posiblemente por efecto de la prohibición de uso durante emergencias ambientales. Se asume que no se utilizan artefactos sin doble cámara. Para otras regiones se usan datos U. Chile 2005)

En la XII Región se asume que los artefactos para calefaccionar se distribuyen en los 3 tipos por igual, por falta de información desagregada.

Tabla 10. Artefactos para calefacción en uso que combustionan leña, por tipo y Región, en miles

REGION	IV	V	RM	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Hogares con salamandra	15,3	10,9	-	35,1	43,0	54,8	20,2	28,1	1,7	5,2
Hogares con combustión simple	17,1	12,2	-	39,4	48,0	90,5	30,7	45,9	8,4	5,2
Hogares con combustión doble	19,9	14,2	56,3	62,5	55,8	50,3	40,5	53,0	7,3	5,2

Fuente: U. Chile 2005. y Gamma Ingenieros 2006 para RM.

Respecto del número de hogares que tiene más de una estufa, se cuenta con la información de la encuesta sobre “Comportamiento del Consumidor”, U. de Chile 2005, en que se deduce que un 15% de los hogares tiene más de un artefacto, ponderando distintos estratos socioeconómicos y distintas ciudades.

3.4 Universo de artefactos para cocina

Al año 2006, el parque de calefactores entre las regiones IV a XII es del orden de 1 millón de unidades, distribuida también en forma muy concentrada entre las regiones VIII y X.

HOGARES CON COCINA DE FIERRO EN USO (2003)

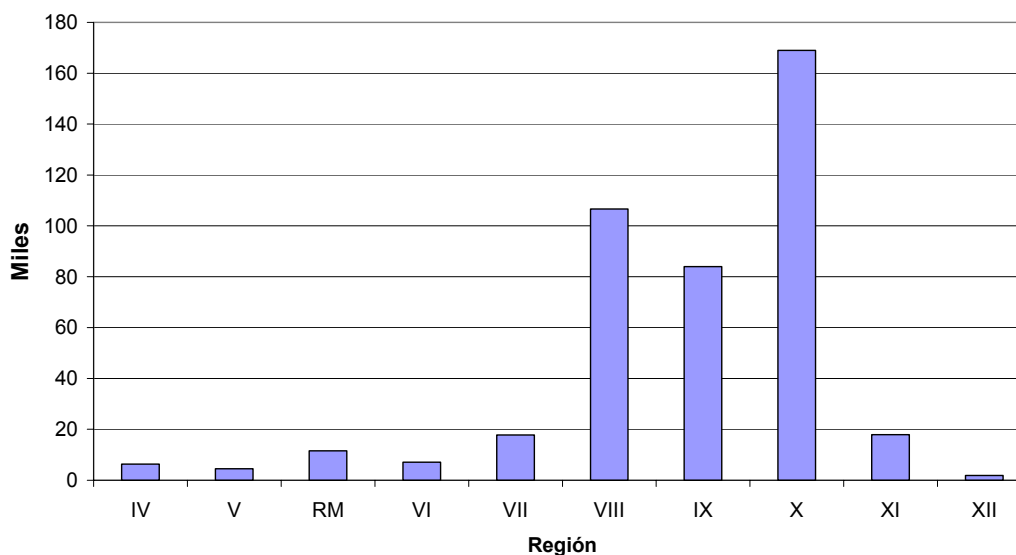


Figura 5. Distribución por Región de cocinas de fierro (Fuente: U. de Chile 2005)

Para los artefactos cocina la distribución es más concentrada, teniendo las regiones VIII a X más del 80% de los artefactos cocina, como se detalla en la tabla siguiente.

Tabla 11. Distribución por Región de cocinas de fierro (en miles en uso al año 2003)

REGION	IV	V	RM	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Hogares con cocina de fierro	6,3	4,5	11,6	7,1	17,8	106,6	84,0	169,0	17,9	1,9
Fuente: U. de Chile 2005										

El total de cocinas de leña al año 2003 es de 427.000 en el país.

Se presume que el número de cocinas en uso y el número de horas de uso para cocinar por cada cocina están disminuyendo progresivamente. Entre el Censo 1992 y el Censo 2002 se produjo una disminución de 19,3 a 12,5 en el porcentaje de hogares que declararon cocinar con leña.

3.5 Mercado de la leña

Considerando una equivalencia de 1 m³ estéreo = 400 kg, el consumo de leña a nivel residencial equivale a las siguientes cantidades, en miles de toneladas, ya sea por compra formal, compra informal o recolección.

Tabla 12. Consumo de leña por uso y Región

REGION	IV	V	RM	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Total en miles ton	64	28	188	695	36	936	594	1.321	184	112
cocinar	6	3	18	67	6	205	212	634	116	71
calefacción	57	25	169	627	31	731	382	688	67	41
Fuente: Estudio Univ. de Chile 2005										

De este volumen de leña consumida, una parte importante no se comercializa por canales formales, por lo que no está sujeta a ninguna posibilidad de control de calidad. Los porcentajes de compras formales se muestran en el cuadro siguiente:

Tabla 13. Porcentaje de compra formal de leña por Región

REGION	% de hogares que reciben documento legal (compradores)
IV	48.29%
V	48.29%
RM	48.29%
VI	48.29%
VII	48.29%
VIII	5.76%
IX	17.00%
X	4.52%
XI	9.07%
XII	9.07%
Fuente: Estudio de leña U. de Chile 2005	

Tabla 14. Precio promedio de la leña, real

REGION	Precio medio por hogar (pesos del 2003 por m3 sólido)
IV	25.834
V	25.834

RM	25.834
VI	25.834
VII	25.834
VIII	18.910(1)
IX	14.253
X	14.652
XI	14.706
XII	14.706
Fuente: Estudio de leña U. de Chile 2005	

Notas: (1) Como para la VIII Región existen dos encuestas, se encontraron dos valores para el precio en esa región, por lo que se utilizó un promedio de tales valores.

3.6 Mercado de artefactos

Según los estudios realizados por CONAMA, existen 3 industrias grandes que fabrican cerca del 75% de los calefactores. Otras 50 a 80 empresas pequeñas cubren el resto del mercado, localizadas principalmente en la IX Región, con una producción de máximo 2.000 unidades/año, en total.

Mayor incertidumbre existe sobre los volúmenes de ventas de cocinas a leña, ya que los fabricantes se encuentran dispersos y no se conocen los canales de distribución.

Según una encuesta reciente de Gamma Ingenieros (2006) la producción de las microempresas y las importaciones no representa más del 10% del mercado. La producción declarada por los 4 mayores productores para la temporada 2006 es la siguiente.

Tabla 15. Producción declarada por fabricantes de calefactores el año 2006

PRODUCTOR	PRODUCCIÓN 2006
Bosca	36.000
Amesti	45.000
Calefactores Pucón	12.000
Fundición Pirque	300
Albin Trotter	2.000
Comercial Jiménez	250
Total	95.550
Fuente: Gamma Ingenieros 2006	

El mismo estudio indica que probablemente estas cifras pueden estar sobreestimadas, por lo que se estima que la cifra real de calefactores comercializados formalmente en 2006 de aprox. 84.000 calefactores.

Comparando con el 2004, en que se declaran ventas por 58.000 calefactores para los 3 productores, las ventas han tenido un aumento importante (sobre 20% anual). En este mismo período se observa una reducción de precios a público del orden de 4%.

Las causas atribuidas a este fuerte aumento son dos:

- aumento de competitividad de la leña frente a otros combustibles
- acceso a crédito que otorga la distribución de calefactores a través de grandes cadenas de retail

Los precios característicos de los artefactos se muestran en los valores declarados por los fabricantes:

Tabla 16. Rangos de precios según fabricantes, con IVA, 2004

RANGO DE PRECIOS	% ESTUFAS	% VENTAS
bajo \$ 125.000	41,2	29,9
\$ 125.000 a 165.000	47,4	50,0
\$ 165.000 a \$ 210.000	6,1	8,3
\$ 210.000 a 300.000	3,8	7,0
sobre \$ 300.000	1,6	4,6
Fuente: Fabricantes		

Frente a las consultas de la última modificación de diseño realizada a los equipos que fabrican actualmente, respecto de si posee algún prototipo de calefactor en proceso de desarrollo tecnológico, los fabricantes presentan diferentes realidades.

Tabla 17. Encuesta desarrollo y modificaciones de diseño de calefactores

Fabricante	Año de última modificación de Diseño	Prototipo de Calefactor en Desarrollo Tecnológico		
		Si, Estufas	Si, Nuevos Productos	NO
Bosca	2006	X	X	
Amesti	2006	X		
Calefactores Pucón	2005	X		
Fundición Pirque	2005			X
Albin Trotter	2006			X
Comercial Jiménez	1994			X
Fuente: Gamma 2006				

En entrevistas con los fabricantes, se manifestó que la innovación en el mercado se ha visto frenada por la incertidumbre frente a la dictación de nuevas normas, por lo que se estima que una norma mejoraría la información y permitiría una competencia basada en la calidad certificada de los artefactos.

Respecto de las cocinas, se desconocen las ventas, las que al parecer serían muy inferiores al número de cocinas que se dejan de usar, dada la disminución de 6% en 10 años en el número de hogares que cocina con leña. (Censos 1992-2002)

Por esta razón, y considerando que el uso de las cocinas tiene un fuerte arraigo cultural, se considera poco probable que la normativa tenga efectos significativos sobre el mercado de cocinas nuevas y la intensidad de uso de las cocinas existentes. En otras palabras, se estima que la adquisición y el uso de cocinas a leña no responde a los factores económicos habituales del mercado: precio de compra, costo de uso, competitividad con otros artefactos, etc., sino a mantener los hábitos de uso tradicionales.

Es poco probable que el uso de leña para cocinar descienda por disminución del número de aparatos. A falta de mayor información, se supondrá que la venta de cocinas nuevas en ningún caso compensa la cantidad de cocinas que dejan de usarse, como lo demuestra el censo. Por lo tanto, a no se considera que el mercado de cocinas nuevas sea significativo para la evolución futura del uso de leña y sus respectivas emisiones.

Al mismo tiempo, en opinión de los fabricantes, no existen, a nivel intencional, innovaciones en el diseño ni en el sistema de combustión de las cocinas, posiblemente porque es difícil compatibilizar el concepto de cámara hermética y doble combustión con la regulación de temperatura requerida y los hábitos tradicionales de preparación de alimentos.

3.7 Impactos de las concentraciones de MP sobre la salud

Existe una amplia literatura que relaciona los niveles de PM₁₀ y PM_{2.5} con efectos en salud.

El estudio realizado para Santiago en 2000 proporciona los coeficientes de impacto para los diferentes efectos, como presenta la siguiente tabla.

Tabla 18. Coeficiente de impacto medio para Santiago (Número de efectos por cada microgramo/m³ de reducción de PM_{2.5} por millón de personas de la población total)

Efectos	Valor Medio	90% Coef. Impacto
Muertes (exposición de largo plazo)	32.6	(21.3 - 43.4)
Bronquitis Crónica	33.4	(18.8 - 43.9)
Muertes Neonatales	6.70	(3.62 - 9.54)
Muertes Prematuras	5.42	(3.25 - 7.57)
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	15.1	(9.22 - 21.9)
Adm. Hosp. COPD (ICD 490-496)	1.50	(1.15 - 1.84)
Adm. Hosp. CVD (ICD 390-429)	1.84	(0.09 - 3.89)
Adm. Hosp. Cardio Congestiva (ICD 428)	0.44	(0.22 - 0.65)
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	0.71	(0.28 - 1.12)

Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	1.77	(1.23 - 2.30)
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	0.25	(0.11 - 0.39)
Ataques de Asma	1.214	(459 - 1970)
Bronquitis Aguda	57.0	-(0.81 – 84.8)
Visitas Sala Emergencia Asma (ICD 493)	1.01	(0.49 - 1.5)
Consultas Infantiles IRA baja	132	(49.0 - 214)
Días Perdida Trabajo (WLDs)	10.225	(9.029 - 11.399)
Días Actividad Restringuida (RADs)	8.330	(5.812 - 10.442)
Días de Actividad Restringuida Menor (MRADs)	34.983	(29.715 - 40.253)
Fuente: Estimación de los Beneficios Sociales de la Reducción de Emisiones y Concentraciones de Contaminantes Atmosféricos en la Región Metropolitana. Santiago, Chile, P. Universidad Católica de Chile, 2000		

Estos coeficientes de impacto dependen de los coeficientes de la relación concentración-respuesta y de las tasas de incidencia de los efectos. Los coeficientes concentración-respuesta han sido tomados de estudios Chilenos, latinoamericanos e internacionales (principalmente de EE.UU.), y se consideran que representan la respuesta biológica, por lo que no cambian al aplicarlo a otras ciudades.

Las tasas de incidencia, en cambio, si varían de ciudad en ciudad, tal como muestra la siguiente tabla, que muestra las tasas de mortalidad para algunas localidades. Como muestra la tabla, aun cuando existe variabilidad entre las diferentes localidades, esta es relativamente menor, sobretodo cuando se compara con la variabilidad de los factores concentración/emisión, por lo que usaremos los resultados para Santiago en todas las ciudades.

Tabla 19. Tasa de mortalidad no accidental según causa y grupo etáreo, promedio de 2000 a 2003 (casos por 100.000 habitantes)

Causa	Grupo de edad	Nacional	RM	Rancagua	Concepción	Temuco
Todas las causas no accidentales	Todos	470	438	451	439	437
	<1 año	817	764	853	785	801
	< 18	54	52	51	50	55
	≥65	4,449	4,298	4,584	4,212	4,592
Respiratorias	Todos	50	46	61	35	43
	< 18	4.4	3.3	6.2	4.9	5.6
	≥65	562	545	779	499	495
Cardiovasculares	Todos	144	133	137	132	117
	< 18	1.3	1.3	1.3	1.5	0.7
	≥65	1,545	1,465	1,594	780	1,394
Fuente: elaboración PUC a partir de datos de mortalidad de INE (2000 a 2003). Poblacion obtenida de INE.						

Además de los impactos del material particulado, la quema de leña emite compuestos aromáticos que son carcinógenos humanos o probables carcinógenos humanos, según la clasificación de la USEPA. Sin embargo, un estudio anterior ha mostrado que los impactos carcinógenos son bastante menores que los producidos por el material particulado, por lo que no se considerarán en este estudio.

4 TECNOLOGÍA DE LAS ESTUFAS A LEÑA

4.1 Combustión de leña

Los artefactos que combustionan leña realizan diversos procesos destinados a obtener el máximo de la energía contenida en la leña y producir el mínimo de residuos.

La leña requiere como comburente oxígeno que es suministrado por el aire de combustión. Los productos del proceso pueden resumirse como sigue:

CALOR DE GASIFICACIÓN: Calor generado por la propia combustión que es necesario para mantener el proceso de secado y gasificación de la leña

CALOR UTIL: Calor efectivamente transferido al ambiente calefaccionado y/o a los elementos de cocción

PÉRDIDAS: Calor transferido al ambiente exterior a través del flujo de exceso de aire caliente que se descarga por el efluente

RESIDUOS: Vapor de agua, dióxido de carbono, componentes orgánicos condensables, cenizas y otros compuestos no contaminantes que genera la combustión

EMISIONES: Material particulado fino, monóxido de carbono, componentes orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno y otros contaminantes que genera la combustión

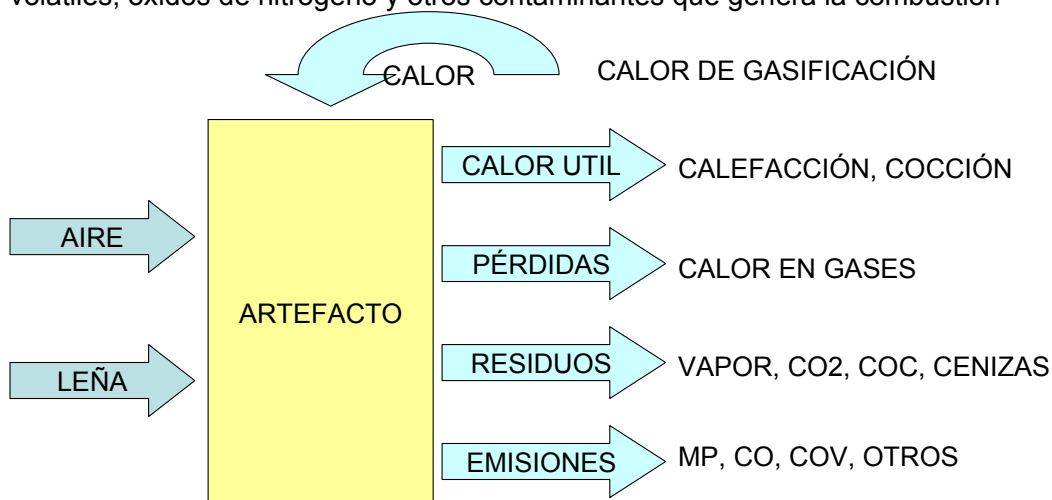


Figura 6. Esquema del flujo de materia y energía en la combustión de leña

Fuente: Elaboración propia

Se puede simplificar la función del calefactor diciendo que utilizando el insumo leña, se busca obtener como producto el calor útil, produciéndose las externalidades que son las emisiones y residuos. En cuanto a la emisión de CO₂, la combustión de leña es neutra. La leña no es un combustible en sí, sino que es necesaria una transformación térmica (pirólisis) para ser descompuesta en sustancias combustibles y ser mezcladas con aire antes de poder ser quemadas. En este proceso es necesario:

- transferir calor a la leña para su gasificación, energía que es obtenida de la propia combustión, y depende en gran medida del diseño de la cámara de combustión
- mezclar los gases generados con aire para su combustión
- mantener una temperatura suficientemente elevada y durante un tiempo suficientemente prolongado para permitir la combustión completa

En caso de no cumplirse estas condiciones, la combustión será incompleta se producirán emisiones y la eficiencia energética será inferior.

La eficiencia energética es inferior al 100% por varias razones:

- parte de la energía de combustión es utilizada en evaporar el agua contenida en la leña
- parte del combustible no es quemado y se emite en forma de partículas o gases condensables (creosota)
- parte de la energía de los gases de combustión no son transferidos al ambiente interior y se descargan al exterior
- parte de la energía de combustión es utilizada en calentar el Nitrógeno y el exceso de Oxígeno del aire de combustión

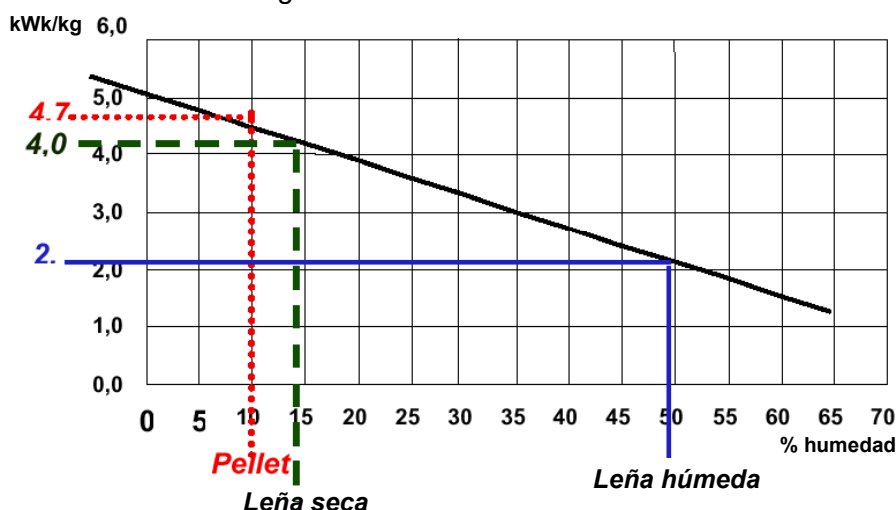


Figura 7. Relación entre el poder calorífico y el contenido de humedad de la leña

La cantidad de aire abundante aumenta la tasa de combustión y la temperatura, pero baja la eficiencia y el tiempo de tránsito de los gases. La cantidad de aire escasa baja la tasa de combustión, reduciendo la temperatura y haciendo incompleta la combustión. En consecuencia, resulta difícil lograr al mismo tiempo una alta eficiencia o bajas emisiones.

Para lograrlo, los diseños de los calefactores recurren a:

- admitir aire primario en forma muy controlada y precalentado
- concentrar el calor en la zona de gasificación de la leña
- mezclar intensamente los gases combustibles con el aire (turbulencia)
- inyectar aire secundario precalentado en lugares y cantidad controlados
- alcanzar una temperatura elevada, del orden de 700 °C
- evitar superficies frías que apaguen la llama o condensen sólidos volátiles
- prolongar el tiempo de tránsito de los gases
- disipar el máximo de calor desde los gases calientes hacia el ambiente

En este proceso de se pueden distinguir varias etapas, que se ilustran a continuación en un ejemplo, donde se analiza paso a paso la transformación que sufre 1 kg de leña, con 20% de humedad (800 g de masa seca) a 10°C de temperatura, que se agrega a una estufa encendida de doble combustión (dos etapas de entrada de aire).

Tabla 20. Procesos de transformación de la leña durante la quema en un calefactor

TEMPERATURA INICIAL-FINAL	ENERGÍA	PROCESO	MASA SÓLIDA FINAL PROCESO
10 a 100°C	Absorbe 0,2 MJ	Calentar la leña húmeda hasta 100 °C	1000 g
100 °C	Absorbe 0,5 MJ	Vaporizar 200 g de agua	800 g
100 a 250 °C	Absorbe 0,2 MJ	Calentamiento de la leña	800 g
250 a 350 °C	Absorbe 1,7 MJ (depende de rapidez de quemado)	Despolimerización de la celulosa, gasificación sin llama	700 g aprox.
350 °C		Ignición de gases	
350 a 850 °C (depende de la rapidez de quemado)	Genera aprox. 10 MJ (parte se absorbe en la gasificación)	Gasificación de volátiles y separación de sólidos (carbonización) Combustión parcial de volátiles	300 g aprox.
500 a 600 °C (depende de la rapidez de quemado)	Genera aprox. 6 MJ	Combustión de sólidos (carbón)	30 g aprox.
650 a 700 °C	Genera aprox. 0,3 MJ	Combustión secundaria (reduce las emisiones)	10 g aprox.
		Emisión de MP y cenizas	5 g
600 a 200 °C	Disipa aprox. 8,4 MJ al entorno (energía útil)	Enfriamiento de gases por convección y radiación	
200 a 10 °C	Disipa aprox. 5,3 MJ a la atmósfera (pérdida)	Descarga de gases a la atmósfera, condensación de vapor de agua y residuos volátiles condensables	

Fuente: Elaboración propia

Nota: La temperatura en la salida exterior de los gases no debe descender bajo 120°C para evitar condensación de agua y la correspondiente corrosión.

En este ejemplo, se generan 16,3 MJ de energía, de los cuales se absorben 1,9 MJ en el proceso de gasificación de la leña, quedando 14,4 MJ de energía neta disponibles. De esta cantidad, 0,7 se pierden en el secado de la leña húmeda, 8,4 MJ se aprovechan al ser disipados al ambientes exterior y 5,3 se descargan a la atmósfera a través de los gases de combustión y aire en exceso. Por lo tanto, la eficiencia energética de este ejemplo es 58%.

4.2 Aspectos de diseño

Existen 3 tipos de cámaras de combustión de leña, dependiendo del la dirección del flujo de aire y gases en relación al combustible sin quemar y las brasas. Estas configuraciones se esquematizan de la siguiente manera:



Figura 8. Configuración “updraft”: el aire fluye desde las brasas hacia la leña sin quemar

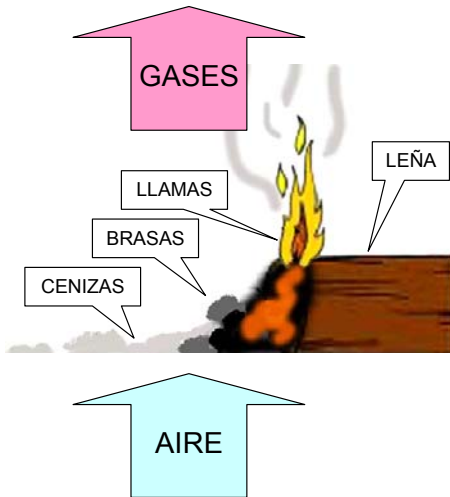


Figura 9. Configuración “sidedraft”: el aire fluye desde las brasas hacia la llama, sin pasar por la leña



Figura 10. Configuración “downdraft”: el aire fluye desde la leña sin quemar hacia las brasas

Las estufas de doble combustión comunes en el país son del tipo “updraft”. Los 3 tipos pueden alcanzar altas eficiencias y bajas emisiones, pero sus parámetros empeoran si se operan fuera de su rango óptimo.

La limitación del tipo “updraft” es que baja la temperatura de la cámara de combustión cada vez que se recarga con combustible, ya que la leña fría tiene contacto con los gases calientes. Cualquiera sea la configuración, hay ciertos aspectos del diseño que permiten un mínimo de emisiones y máximo de calor útil. Algunos de ellos se resumen en el cuadro siguiente.

Estas condiciones no son indispensables en cada diseño, sino que se mencionan como posibles soluciones que, aplicando un conjunto de ellas, tienden a mejorar las características de los calefactores.

Tabla 21. Recursos de diseño orientados a mejorar las condiciones de combustión

OBJETIVO	DISEÑO
Mantener presión negativa	Máxima hermeticidad, con ingreso de aire sólo en entradas controladas
Cantidad de aire correcta	Regulador de flujo de aire primario según la tasa de combustión deseada
Temperatura de aire correcta	Pre calentamiento del aire primario y secundario
Libre circulación de aire alrededor de la leña	Parrilla o elementos posicionadores de leña
Temperatura de combustión alta	Mantener el calor en la cámara de combustión, limitando las pérdidas por radiación o conducción
Combustión completa de gases y partículas	Mezcla de gases y partículas combustibles con aire secundario a alta temperatura
Tiempo suficiente de combustión	Prolongar el recorrido de los gases mediante deflectores de flujo Provocar turbulencia en la mezcla de aire secundario
Aumentar la eficiencia energética	Extraer el máximo calor de los gases, después de la combustión y antes de la descarga al cañón de salida Evitar el exceso innecesario de aire primario y/o secundario Reciclar los gases de escape como fuente de aire secundario Aumentar la convección en la superficie exterior de la estufa
Adaptar la combustión a distintas tasas de quemado o calidad de combustible	Ventilador de inyección de aire controlado por sensor de temperatura
Minimizar emisiones manteniendo el mínimo de exceso de aire	Control de cantidad de aire mediante sensor lambda
Optimizar la combustión a las condiciones reales de instalación	Regulador de entrada mínima de aire que se ajusta con el tiraje real durante la instalación del calefactor
Evitar riesgo de quemaduras por superficies exteriores a alta temperatura	Incorporar material aislante y/o refractario para temperaturas exteriores moderadas
Evitar la operación a temperatura insuficiente	Permitir una cantidad de aire mínima que mantenga la combustión
Evitar el exceso de aire durante etapa de enfriamiento	Cierre automático de aire al bajar la temperatura
Evitar exceso de presión negativa	Limitador de tiraje en cañón de gases
Evitar apagado prematuro de llama	Evitar superficies metálicas frías
Evitar condensación de volátiles	Mantener la temperatura alta hasta el final de la combustión Uso de doble vidrio en ventana
Remoción de cenizas	Separador y receptáculo de cenizas, sin entradas de aire no controladas

Fuente: Elaboración propia

Un ejemplo de estufa de doble combustión y alta eficiencia, que incorpora diversos recursos de diseño se muestra en la figura siguiente.

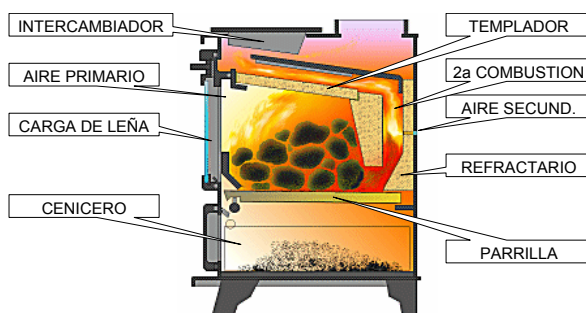


Figura 11. Sección de una estufa de doble combustión, bajas emisiones y alta eficiencia (Fuente: catálogo extranjero)

Nota: para más detalles técnicos, ver "Estudio de factibilidad de aplicar el modelo de estufa Sirius en Chile", Conama, Diciembre 2006

4.3 Características de calefactores de doble combustión del mercado actual

Los calefactores que se han establecido en el mercado chileno corresponden, en su mayoría, al tipo doble combustión y su popularidad se debe principalmente al concepto de "combustión lenta" en relación a calefactores y estufas de tecnologías anteriores.

El principal elemento que distingue estas estufas es el denominado "templador", que cumple varias funciones. Por una parte, el templador forma una segunda cámara sobre la cámara principal. El templador defleca el flujo de gases provocando un recorrido más largo a través de la segunda cámara.

Por otra parte, el templador alcanza una elevada temperatura al estar en contacto con los gases en combustión y por efecto de la radiación de la llama. De este modo, el templador cumple la función de transferir calor desde la combustión primaria, manteniendo una temperatura más elevada en la etapa de combustión secundaria.

Resulta fundamental en el diseño del templador que logra la mezcla oportuna y completa del aire secundario con los gases y MP a alta temperatura.

La principal deficiencia de esta configuración es que necesariamente se enfría la cámara de combustión cada vez que se carga de combustible, dando lugar a un período de mayores emisiones hasta que se alcanza el régimen normal de temperaturas.

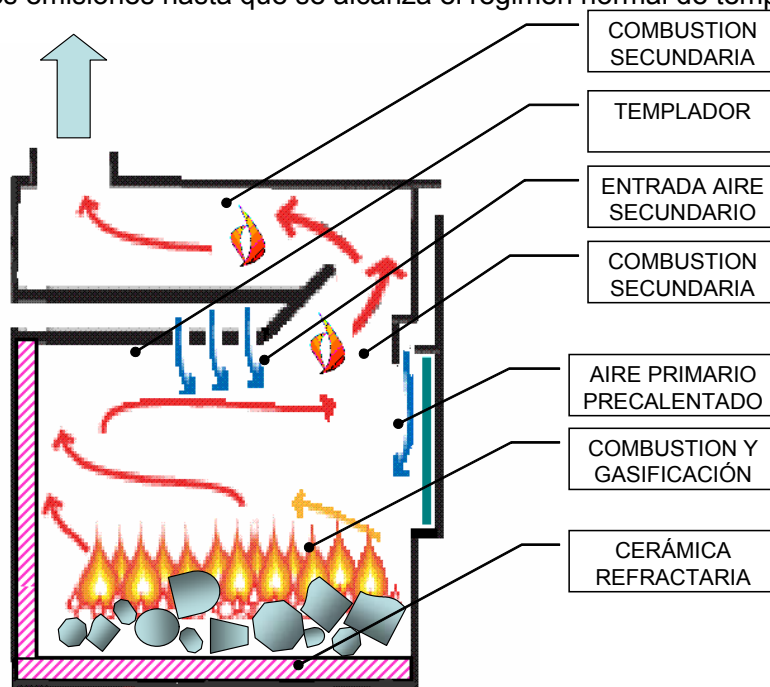


Figura 12. Esquema de una estufa de doble combustión nacional típica (Elaboración propia)

Las estufas de doble combustión típicas tienen una potencia máxima promedio de 9.000 kcal/hr, equivalente a 10 kW y una tasa de quemado de 2,5 a 3 kg de leña por hora. En su posición "mínimo" o "lenta" la potencia es de 2 a 3 kW y un consumo de 0,6 a 1 kg/hr. Los factores de emisión típicos de material particulado (en laboratorio y con leña seca) son de aprox. 2 g/kg para máxima potencia y 6 g/kg a baja potencia, con una cantidad de leña moderada.

Generalmente, a máxima potencia el aire primario proporciona un elevado exceso de oxígeno, facilitando una mayor temperatura y mejor combustión, pero reduciendo la eficiencia energética por el mayor flujo y menor tiempo de intercambio térmico.

Si se llena la cámara a su máxima capacidad de leña, baja la temperatura de la cámara de combustión y las emisiones pueden ser mucho mayores, como muestran en la figura siguiente.

Por lo tanto, existe un compromiso entre la duración de la carga de combustible, el proceso de recarga de combustible y las emisiones de MP que se producen. Por lo tanto, un calefactor ideal es el que alcanza rápidamente su temperatura máxima desde el encendido y durante la recarga mantiene elevada dicha temperatura.

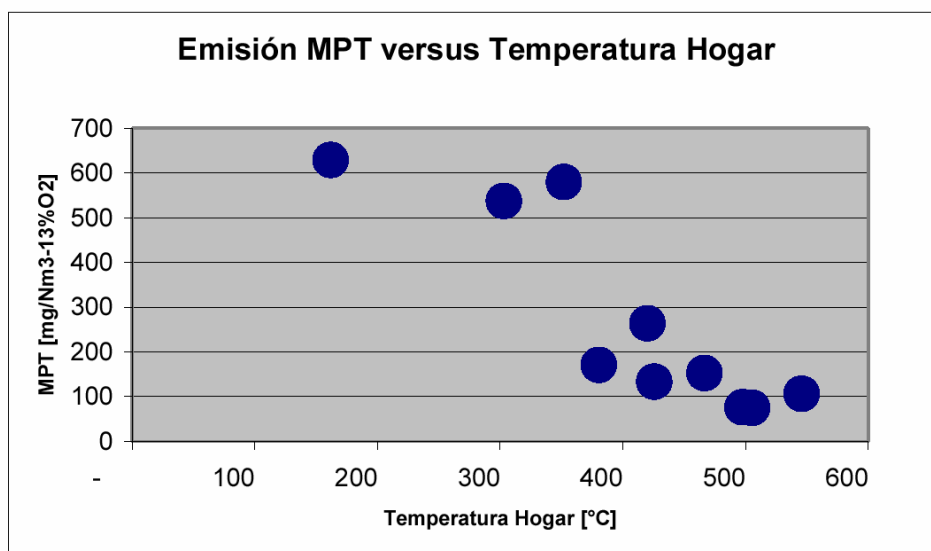


Figura 13. Relación entre emisiones de MP y temperatura del hogar (Proterm 2005)

La eficiencia térmica típica de los calefactores en el mercado nacional es entre 55% y 65 % de la capacidad calorífica de la leña.(ver figura siguiente) (SERPRAM 2006). Al aumentar la tasa de quemado disminuye la eficiencia térmica, debido al mayor exceso de aire primario y al menor tiempo de tránsito por las superficies de intercambio de calor.

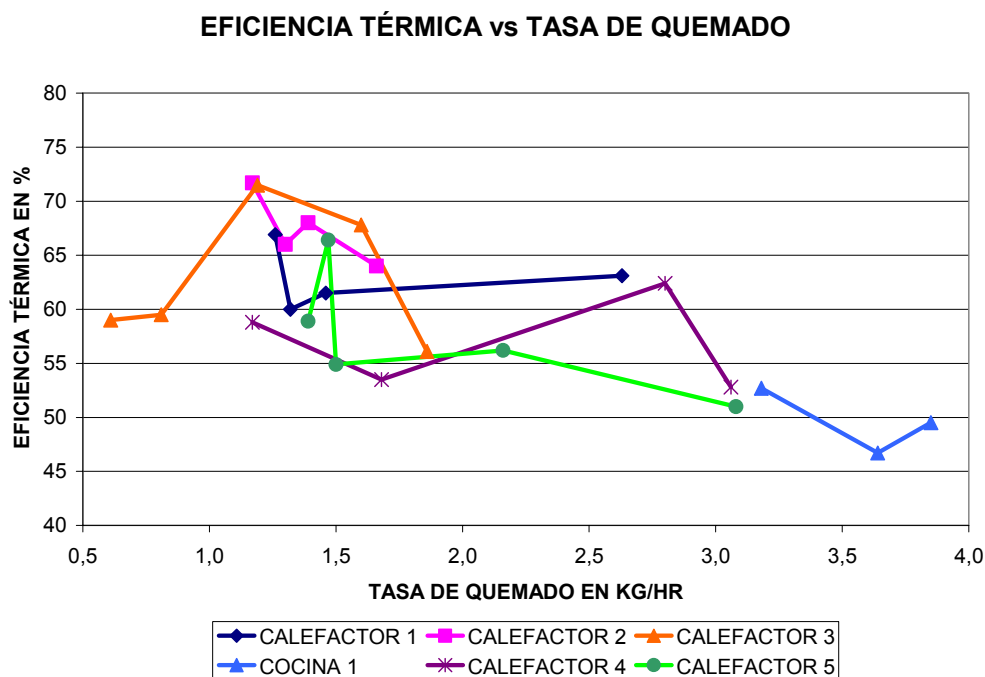


Figura 14. Eficiencia térmica de calefactores del mercado actual (SERPRAM 2006)

Los artefactos evaluados por SERPRAM (2006) presentan tasa de quemado entre 0,6 y 3,8 kg/hr, con eficiencias descendentes desde 70% hasta menos de 50%, para sus diferentes condiciones de operación.

La cocina presenta una alta tasa de quemado y una baja eficiencia, probablemente debido a las diversas fugas de aire que tienen estos artefactos a través de las uniones de sus partes y puertas no herméticas.

En cuanto a emisiones, los artefactos nacionales presentan valores, según los ensayos de SERPRAM 2006, en el rango 100 a 600 mg/MJ, como se muestra en la figura siguiente.

En estos ensayos, se fijan las condiciones del artefacto y se evalúa un ciclo completo de combustión de cierta carga de leña. Durante este ciclo las emisiones y la tasa de quemado varían continuamente y los resultados que se obtienen caracterizan la totalidad del ciclo, sin representar las emisiones instantáneas.

EMISIONES DE ARTEFACTOS ACTUALES

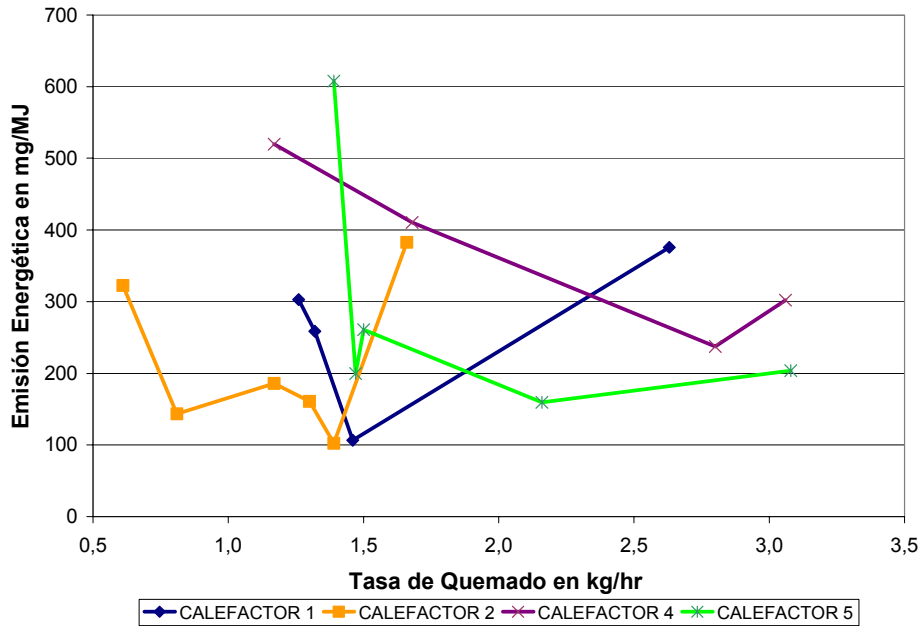


Figura 15. Relación entre tasa de emisión energética y tasas de quemado para ejemplos de artefactos nacionales

Se aprecia de estos resultados que no es simple asignar un valor único como característicos de cada artefacto.

A modo de comparación, se puede mencionar que la norma canadiense especifica un límite de 137 mg/MJ.

5 MODELO DE SIMULACIÓN DEL STOCK Y EMISIONES

5.1 Número de calefactores

No existe una información histórica de las ventas ni un inventario de calefactores que constituyen el stock actual de artefactos. Sin embargo, para efectos de este estudio, se reconstruirá esta información histórica considerando 4 períodos de evolución del mercado con anterioridad a la norma, caracterizados según los siguientes parámetros:

- Tasa de aumento anual de ventas formales
- Tasa de recambio de artefactos que dejan de usarse en relación a los artefactos nuevos
- Tasa de ingreso de artefactos informales en relación a las ventas formales

Esta reconstrucción es importante porque conociendo la edad del stock se puede estimar el tipo y número de artefactos que salen del stock por fin de su vida útil.

Tabla 22. Períodos de formación del stock de calefactores y supuestos para el modelo

PERIODO	DESCRIPCIÓN	TASA DE AUMENTO (1)	TASA DE RECAMBIO (2)	TASA INFORMAL (3)
1970 - 1979	Mayormente fundición artesanal. Incipiente mercado de calefactores industrializados	4%	2%	20%
1980 – 1993	Se desarrolla el mercado de calefactores industrializados con el concepto “combustión lenta”, a partir de los sectores de mayores ingresos	8%	3%	15%
1994 - 2003	El Plan de Descontaminación de la RM promueve el recambio, quedando obsoletas las chimeneas por contaminantes e ineficientes	10%	4%	12%
2004 -2006	La distribución a través de cadenas y el alza de precio de los combustibles fósiles aceleran las ventas. El precio medio de los calefactores ha disminuido.	20%	5%	10%

Fuente: Elaboración propia

1. La tasa de aumento se refiere al incremento anual de ventas formales de artefactos
2. La tasa de recambio se refiere a los artefactos que dejan de usarse en relación a las ventas, ya sea por ineficiencia, recambio u otras razones.
3. La tasa informal se refiere a la fracción de artefactos que entra al mercado por vías informales, en relación a las ventas formales

Se considera una vida útil de 30 años, al cabo del la cual el artefacto sale del stock.

Con los supuestos anteriores se ajustaron los valores iniciales para coincidir con los escasos datos duros que se dispone. Estos datos de calibración son:

- Número de artefactos dados por el censo y encuestas al 2003 = 870.000 artefactos
- Salamandras al año 2003 = 214.000
- Calefactores de combustión simple al año 2003= 297.000
- Calefactores doble combustión al año 2003 = 365.000
- Ventas formales el año 2004 = 58.000 artefactos
- Ventas formales el año 2006 = 84.000 artefactos

Se consideran, además, las siguientes hipótesis:

- El mercado informal tiene una participación (tasa informal) progresivamente menor
- La vida útil es de 30 años y salen del stock al cumplir esa edad
- La tasa de artefactos que dejan de usarse al ser reemplazados por uno nuevo (tasa de recambio) es progresivamente mayor

La modelación arroja los siguientes resultados para el período 1970 - 2006:

Tabla 23. Evolución histórica del stock de calefactores (simulación)

AÑO	ENTRAN	ENTRAN	SALEN	SALEN	STOCK
	FORMAL	INFORMAL	VIDA UTIL	RECAMBIO	
	MILES	MILES	MILES	MILES	MILES
PRE 1970					350
1970	6,6	1,3	1,5	0,0	356
1971	6,9	1,4	1,6	0,0	363
1972	7,3	1,5	1,7	0,0	370
1973	7,6	1,5	1,8	0,0	378
1974	8,0	1,6	1,9	0,0	385
1975	8,4	1,7	1,9	0,0	393
1976	8,8	1,8	2,0	0,0	402
1977	9,3	1,9	2,1	0,0	411
1978	9,8	2,0	2,3	0,0	420
1979	10,2	2,0	2,4	0,0	430
1980	10,8	1,6	2,5	2,2	438
1981	11,3	1,7	2,6	2,2	446

1982	11,9	1,8	2,7	2,2	455
1983	12,4	1,9	2,9	2,3	464
1984	13,1	2,0	3,0	2,3	474
1985	13,7	2,1	3,2	2,4	484
1986	14,4	2,2	3,3	2,4	495
1987	15,1	2,3	3,5	2,5	506
1988	15,9	2,4	3,7	2,5	518
1989	16,7	2,5	3,9	2,6	531
1990	17,5	2,6	4,1	2,7	545
1991	18,4	2,8	4,3	2,7	559
1992	19,3	2,9	4,5	2,8	574
1993	20,3	3,0	4,7	2,9	589
1994	22,3	2,7	4,9	5,9	606
1995	24,5	2,9	5,2	6,1	625
1996	27,0	3,2	5,4	6,3	647
1997	29,7	3,6	5,7	6,5	671
1998	32,6	3,9	6,0	6,7	698
1999	35,9	4,3	6,3	7,0	728
2000	39,5	4,7	6,6	7,3	762
2001	43,5	5,2	6,9	7,6	796
2002	47,8	5,7	7,3	8,0	834
2003	52,6	6,3	7,6	8,4	877
2004	57,8	5,8	8,0	8,9	923
2005	69,4	6,9	8,4	18,8	982
2006	83,3	8,3	8,8	20,1	1.054
Se indican en color los datos de calibración.					
Fuente: Elaboración propia					

Estos mismos datos se grafican en la forma siguiente:

Informe Final: Análisis técnico-económico de la aplicación de una norma de emisión para artefactos de uso residencial que combustionan con leña y otros combustibles de biomasa. Estudio desarrollado por Ambiente Consultores para CONAMA. Versión corregida Mayo, 2007.

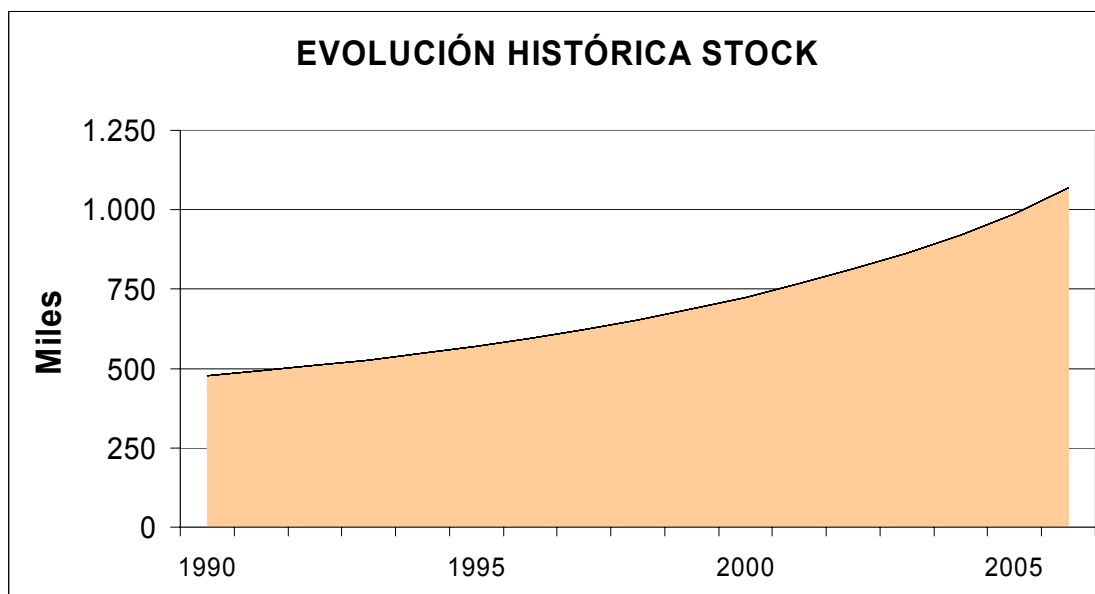


Figura 16. Evolución histórica del stock desde 1990 hasta el presente

5.2 Clasificación de calefactores según sus emisiones

Con el objeto de caracterizar las emisiones de los artefactos, en relación con los límites propuestos por el anteproyecto de norma, es necesario definir los factores de emisión del stock de calefactores, los que se asocian a las diferentes tecnologías que han caracterizado a los diferentes períodos.

En primer lugar, se creó una escala única de calidad, que considera emisiones y eficiencia energética. El propósito de esta escala es evaluar el efecto de la entrada o salida de un artefacto al parque existente, ya sea en el pasado o en el futuro, y así evaluar el impacto de los cambios en el stock de artefactos, incluyendo los más antiguos.

La razón de incorporar la eficiencia energética es que esta genera un menor consumo de leña y, por lo tanto, menores emisiones, para una misma calidad de combustión. Por razones de orden y facilidad de interpretación, la escala es geométrica y tiene intervalos espaciados por un factor igual a 2, cubriendo un rango amplio de calidad.

Tabla 24. Escala propuesta de clasificación de artefactos según emisiones de MP

CLASE	EMISIONES MP EN mg/MJ
A	menos de 10
B	10 a 20
C	20 a 40
D	40 a 80
E	80 a 160
F	160 a 320
G	320 a 640
H	640 a 1280
I	más de 1280

Fuente: Elaboración propia

Para poder construir un modelo que refleje la diversidad de artefactos, en cada categoría anterior se ha definido un artefacto "típico", hipotético, al cual se le asocia una tecnología aproximada. Se han aplicado varios supuestos y aproximaciones para lograr unificar datos dispersos y de diferentes orígenes en valores de referencia, sólo para facilitar el cálculo de emisiones. (ver notas)

Además del factor de emisión, a cada artefacto de referencia se le asigna una eficiencia térmica. Se entiende por eficiencia térmica el porcentaje de energía generado por la combustión que se transfiere al recinto del calefactor. Esta fracción incide en las emisiones porque una menor eficiencia implica mayor cantidad de leña quemada y, por ende, mayores emisiones, dado un mismo factor de emisión.

Tabla 25. Artefactos de referencia según emisiones y eficiencia térmica

CLASE	DESCRIPCION TECNOLOGÍA TÍPICA (1)	EFICIENCIA TÉRMICA (2)	EMISION VOLUMÉTRICA (3)	EMISION MÁSICA (4)	EMISION ENERGÉTICA (3)
	(sólo a modo de ejemplos)	%	mg/m ³ N	g/kg masa seca	mg/MJ
I	Salamandra o estufa artesanal	50	1280	16	1.778
H	Estufa combustión simple	55	800	10	1.010
G	Estufa doble cámara básica	60	480	6,0	556
F	Estufa doble cámara 5 g/hr	65	280	3,5	299
E	Estufa doble cámara 3 g/hr	70	144	1,8	143
D	Estufa doble cámara y tiro forzado 2 g/hr	75	80	1,0	74
C	Estufa pellets	80	40	0,50	35
B	Estufa pellets avanzada	85	20	0,25	16
A	Futura tecnología	90	12	0,15	9

Notas:

- (1) La descripción es aproximada a un artefacto que podría clasificarse en cada clase, pero no es excluyente de otras tecnologías ni necesariamente tiene esa eficiencia y emisiones.
- (2) La eficiencia térmica es estimativa. Las mediciones de SERPRAM sitúan a los equipos en producción en la Clase G y tienen eficiencia media de 61%. Los mejores equipos conocidos alcanzan eficiencia del 90%.
- (3) Se considera el método del anteproyecto, es decir, el proceso de ensayo dado por el método 28 y la medición por el método 5G, tomando el peor valor de 4 condiciones.
- (4) Se considera una equivalencia aproximada de $80 \text{ mg/m}^3 = 1 \text{ g/kg}$. En teoría, la combustión estequiométrica genera $4,6 \text{ m}^3$ de gases por kg de leña seca, que diluido con aire al 13% de O_2 equivale a 12 m^3 de la mezcla de gases. Esto implica que 1 g/kg de MP equivale a 83 mg/m^3 de MP. Por otra parte, la medición de SERPRAM arroja un valor de 77 mg/m^3 para cada g/kg de MP.
- (5) Se considera que 1 kg (masa seca) de leña produce 18 MJ de energía = 5 kWh
- (6) Para modelar las emisiones de los artefactos en uso, es necesario corregir los valores de laboratorio para caracterizar la emisión real de los artefactos. La emisión real es mayor que la emisión nominal por al menos 2 factores: la humedad de la leña con respecto a la leña del ensayo, y la operación en condiciones diferentes al ensayo de laboratorio. Para efectos de esta modelación, se considerará como supuesto que entre ambos factores las emisiones reales serán 5 veces las emisiones nominales. Otros estudios obtienen ratios entre 3,5 y 10,5, sin distinción entre efectos derivados del mal uso, de desperfectos en el artefacto, de la instalación del artefacto o de la calidad del combustible. (ver numeral 5.8) La humedad de ensayo de laboratorio es entre 16% y 20% en peso húmedo, lo que con seguridad se excede en el uso real.

En la tabla siguiente se muestran los factores de emisión de laboratorio y los estimados como "reales" para efectos de modelación.

Tabla 26. Factores de emisión de laboratorio y supuestos como reales (Elaboración propia)

CLASE	DESCRIPCION TECNOLOGÍA TÍPICA (1)	EFICIENCIA TÉRMICA	EMISION VOLUMÉTRICA	EMISION MÁSICA	EMISION VOLUMÉTRICA "REAL"	EMISION MÁSICA "REAL"
	(sólo a modo de ejemplos)	%	$\text{mg/m}^3\text{N}$ al 13% O_2	g/kg masa seca	$\text{mg/m}^3\text{N}$ al 13% O_2	g/kg leña
I	Salamandra o estufa artesanal	50	1280	16	6.400	80
H	Estufa combustión simple	55	800	10	4.000	50
G	Estufa doble cámara básica	60	480	6,0	2.400	30
F	Estufa doble cámara 5 g/hr	65	280	3,5	1.400	18
E	Estufa doble cámara 3 g/hr	70	144	1,8	720	9

D	Estufa doble cámara y tiro forzado 2 g/hr	75	80	1,0	400	5
C	Estufa pellets	80	40	0,50	200	2,5
B	Estufa pellets avanzada	85	20	0,25	100	1,25
A	Futura tecnología	90	12	0,15	60	0,75
Fuente: Elaboración propia						

Es necesario destacar que las emisiones no son una característica absoluta de un cierto artefacto, sino que depende en gran medida en el modo de uso de dicho artefacto, que puede cambiar varias categorías según como se opere. A modo de ejemplo, se muestran los resultados de una estufa de doble combustión ensayada bajo diversas condiciones.

Tabla 27. Factores de emisión de estufas bajo diferentes condiciones de operación (Fuente: Nussbaumer 2006)

	HUMEDAD DE LA LEÑA	ESTUFA TÍPICA	ESTUFA AVANZADA
OPERACIÓN	%	MP [mg/m ³] a 13% O ₂	MP [mg/m ³] a 13% O ₂
(1) Operación <u>ideal</u> con trozos de leña pequeños y secos, 30% carga. No incorpora el aporte de contaminantes durante el período de encendido	12	20	10 - 20
(2) Operación <u>ideal</u> con trozos de leña pequeños y secos, 30% carga con combustible ideal. Incorpora en la medición el período de encendido.	12	50	20 - 30
(3) Operación <u>típica</u> para calefacción, carga completa con combustible bueno.	20	250 – 1.200	30- 50
(4) Operación <u>típica</u> para calefacción, carga completa con combustible malo.	33	500 – 1.200	60 - 150
(5) Operación <u>mala</u> , ingreso de aire cerrado durante operación.	20	6.600	No es posible operar

Según esta información, es probable que la condición más frecuente en Chile para calefactores de doble combustión sea la N°4, que clasificaría entre las clases F y E. Para efectos del modelo, se supondrá que las salamandras emiten, en condiciones reales, el equivalente a 6.400 mg/m³ a 13% O₂, las estufas de combustión simple 4.000 mg/m³ a 13% O₂, y las estufas de combustión doble 2.400 mg/m³ a 13% O₂.

Considerando, además, la eficiencia energética asociada a los artefactos de referencia, se grafica la serie de estos artefactos hipotéticos en la siguiente figura.

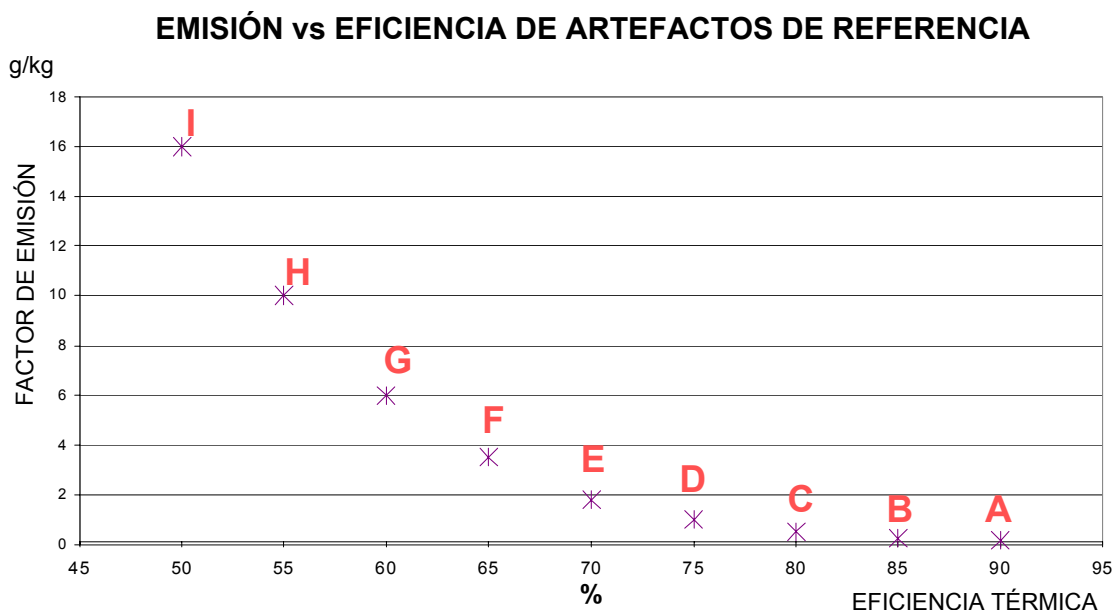


Figura 17. Relación emisiones–eficiencia para los equipos de referencia de las 9 clases (Elaboración propia)

De acuerdo a esta escala, los calefactores evaluados en la medición de SERPRAM (2006) se clasifican entre Clases G y E, si se consideran por separado las mediciones parciales.

Ahora, si a cada período histórico se le asigna una tecnología característica, la composición del stock habría evolucionado como se muestra en la tabla y figura siguientes.

Tabla 28. Clases y factores de emisión asignadas a los períodos de formación del stock actual

PERIODO	CARACTERIZACIÓN DEL MERCADO	CLASE ARTEFACTO (típico)	EMISION ASIGNADA (mg/MJ)
1970 - 1979	Mayormente fundición artesanal. Incipiente mercado de calefactores industrializados	I	más de 6.400
1980 – 1993	Se desarrolla el mercado de calefactores industrializados con el concepto "combustión lenta"	H	3.200 a 6.400
1994 - 2003	El Plan de Descontaminación de la RM promueve el recambio, quedando obsoletas las chimeneas	G	1.600 a 3.200
2004 -2006	La distribución a través de cadenas y el alza de precio de los combustibles fósiles aceleran las ventas.	F	800 a 1.600

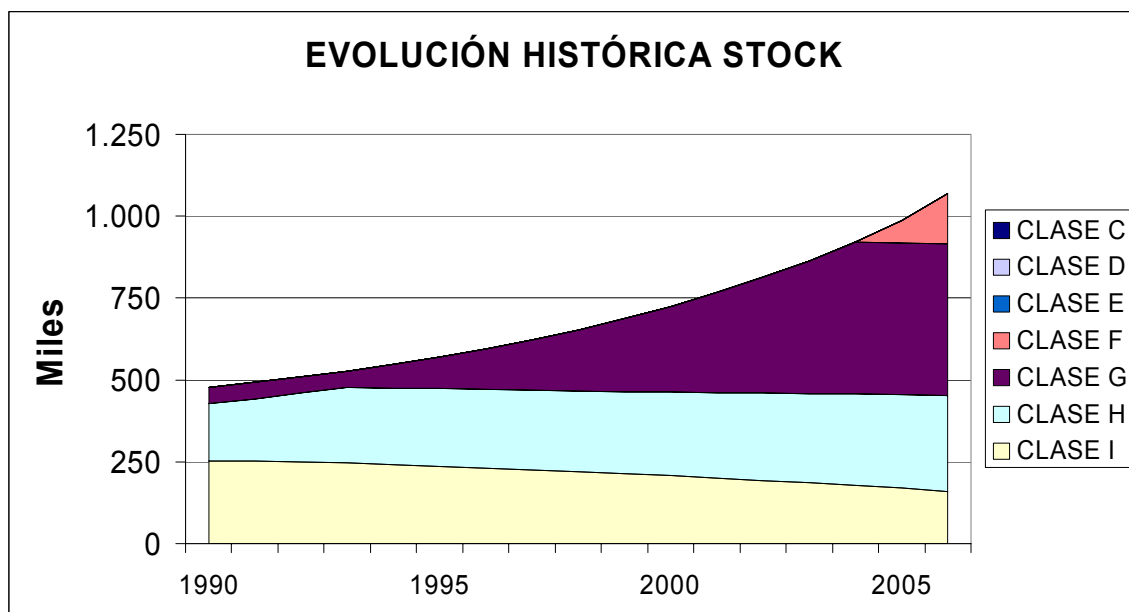


Figura 18. Modelo de composición del stock desde 1990 hasta 2006 (Elaboración propia)

Se grafican a continuación las emisiones de los equipos evaluados por SERPRAM 2006, señalando cada equipo con un color diferente, en sus varias condiciones de quemado. Se muestran también con letras D, E, F y G las clases de calidad según la clasificación anterior. Se puede observar que el mismo artefacto presenta una gran variación de emisiones, por lo que no es fácilmente homologable a una categoría.

Para ciertas tasas de quemado, cada calefactor podría cumplir las emisiones de Clase E, pero para el rango completo de tasas de quemado, todos, excepto uno, quedarían clasificados en Clase G.

En el caso de la cocina, quedaría clasificada en Clase F, pero con muy altas tasas de quemado, lo que implica ineficiencia térmica y gran gasto de combustible. Esta característica es común a la tecnología de construcción de las cocinas, con numerosas entradas de aire no controladas.

EMISIONES vs TASA DE QUEMADO

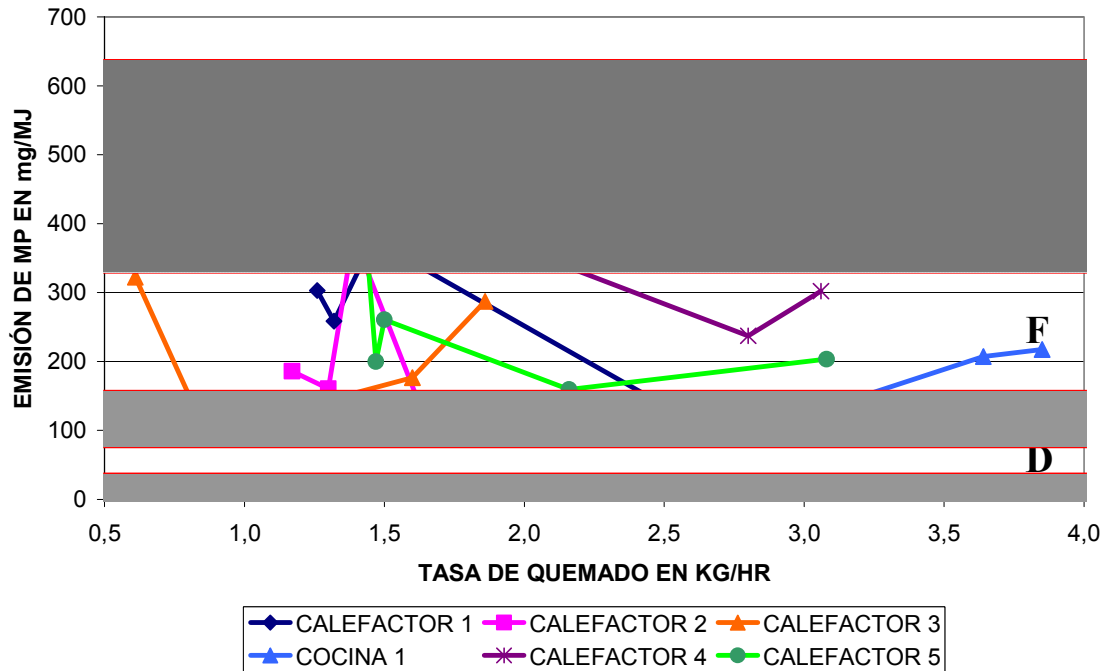


Figura 19. Emisiones y tasas de quemado para 5 artefactos en 22 condiciones de quemado diferentes, versus las clases de calidad propuestas (Elaboración propia en base a estudio SERPRAM 2006)

Estos mismos resultados, considerando cada observación como una muestra independiente, pueden ser graficados en los ejes eficiencia vs emisiones, en escala logarítmica, lo que muestra cómo estos artefactos se ubican en la secuencia de evolución tecnológica desde la Clase I hacia la Clase A.

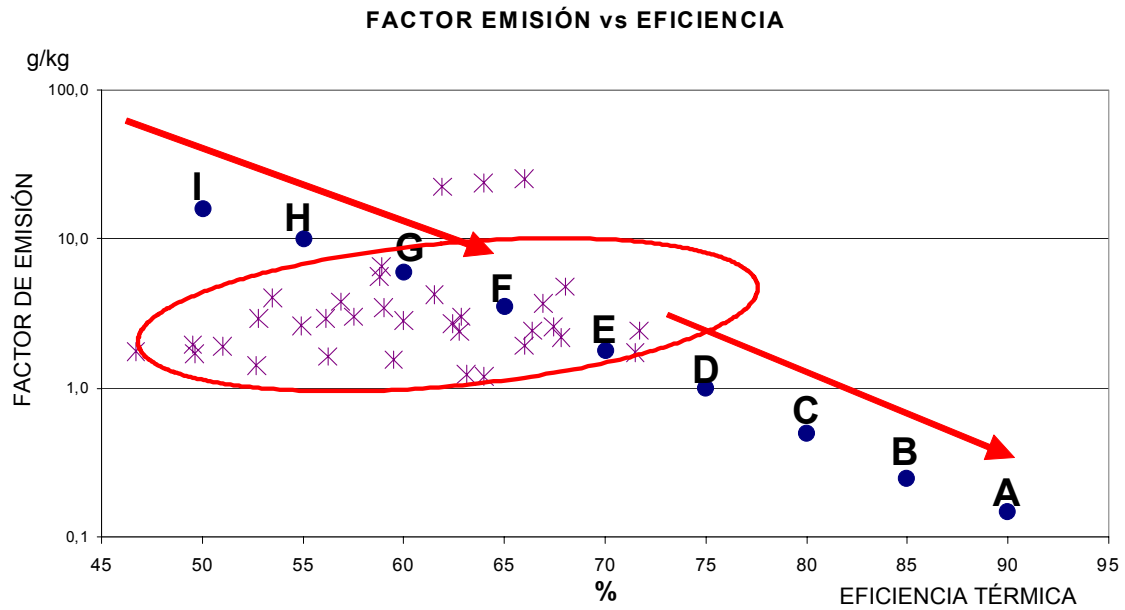


Figura 20. Evolución tecnológica, mostrando valores logrados por algunas estufas nacionales bajo diferentes tasas de quemado, en escala logarítmica

Se observa que, en cuanto a eficiencia energética, los equipos actuales en Chile se ubican entre las Clases I y E, mientras que en cuanto a emisiones, se ubican entre las clases G y E.

6 OPCIONES TECNOLÓGICAS DE LAS NORMAS

6.1 Incidencia del modo de operación en las emisiones de MP

Se han identificado las siguientes relaciones:

- la humedad del combustible es el factor fundamental en la emisión de MP
- las emisiones durante el encendido son una parte importante de las emisiones del ciclo total de combustión
- el uso de bajas tasas de quemado (combustión lenta) aumenta fuertemente las emisiones
- el mayor tamaño del combustible aumenta las emisiones
- la eficiencia energética disminuye con un mayor exceso de aire
- la eficiencia energética depende del diseño del ducto de descarga de gases

Por lo tanto, el método de ensayo debe considerar la presencia de estas relaciones para incluir los diferentes modos de operación.

6.2 Parámetros de evaluación de emisiones

Las normativas actualmente en vigencia en otros países se basan en al menos 5 diferentes parámetros para caracterizar las emisiones de material particulado:

Tabla 29. Parámetros usados para evaluar emisiones de MP de artefactos a leña

PARÁMETRO	UNIDAD	DEFINICIÓN
TASA DE EMISIÓN	g/hr	Masa de MP emitido en gramos por tiempo de operación, en horas
EMISIÓN ENERGÉTICA BRUTA	mg/MJ _{IN}	Masa de MP emitido en miligramos por energía contenida en el combustible seco, en megajoules
EMISIÓN ENERGÉTICA NETA	mg/MJ _{OUT}	Masa de MP emitido en miligramos por energía efectivamente entregada por el calefactor, en megajoules
EMISIÓN VOLUMÉTRICA	mg/m ³ N	Masa de MP emitido en miligramos por volumen de gases en m ³ , normalizado a 13% de Oxígeno

FACTOR DE EMISIÓN	g/kg	Masa de MP en gramos por masa de combustible seco, en kg
Se muestran la nomenclatura y unidades típicas, pero no únicas.		

Nota: 1 kg de biomasa seca genera aprox. 12 m³ de volumen de gases normalizados a 13% O₂, por lo que 1 g/kg es equivalente a 83 mg/m³.

Las normas estadounidense y canadiense consideran g/hr como parámetro.

Las normas australiana, neozelandesa, británica y noruega utilizan g/kg como parámetro.

La norma europea (en preparación) y la suiza utilizan mg/m³ como parámetro.

Las normas sueca y austríaca utilizan mg/MJ como parámetro.

El anteproyecto de norma utiliza el parámetro mg/m^3 (13% O₂) para evaluar las emisiones.

A su vez, los distintos países utilizan distintos métodos de ensayo, especialmente respecto de las tasas de quemado, por lo que los valores no son directamente comparables. Por ejemplo, en la Fig. 17 un mismo artefacto muestra variaciones hasta 5 veces en las emisiones para distintas tasas de quemado.

Por lo tanto, es esencial que la elección del parámetro de evaluación esté acorde y se complemente con un método de medición que represente los diferentes modos de operación.

Para los propósitos de la norma, se estima conveniente que se incorpore al parámetro normado el concepto de eficiencia térmica, por cuanto incide en las potenciales emisiones.

6.3 Ventajas y desventajas de las unidades de emisión

Gramos por kilogramo

La unidad históricamente usada para evaluar emisiones de quemadores a leña y carbón es “gramos por kilogramo” (g/kg) o Factor de Emisión. Esta proporciona una medida de la cantidad de particulado emitido, en gramos, por cada kilogramo de combustible quemado. Esta unidad es relativamente fácil de medir.

La eficiencia térmica no es considerada en la unidad g/kg; por lo tanto, se requiere considerar la aplicación por separado de un criterio de eficiencia. Artefactos con menores eficiencias probablemente usarán más combustible, independientemente de la energía contenida en el combustible, de modo que el calor entregado por unidad de combustible quemado será menor. Un problema con agregar un segundo criterio (por ejemplo g/kg y % eficiencia energética) es tener que definir si los artefactos requieren cumplir ambos criterios para aprobar la calificación de emisiones. Otra alternativa es adoptar una compensación entre emisiones y eficiencia al evaluar las emisiones globales.

Gramos por unidad de energía en el combustible

Para tomar en cuenta la energía contenida en el combustible, las emisiones pueden calcularse como la cantidad de material particulado emitido (en gramos) por unidad del potencial energético del combustible (en MJ). La unidad resultante, “g/MJin”, es más apropiada que g/kg para comparar artefactos que queman diferentes combustibles. Para calcular “g/MJin” es necesario conocer el valor calorífico del combustible. Este es relativamente simple para combustibles con un poder calorífico fijo, como el gas (49,6 MJ/kg) o el diesel (43 MJ/kg). Para leña o carbón el poder calorífico puede variar, aunque suele utilizarse el valor 18 MJ/kg. Si los artefactos son ensayados usando combustibles de diferente poder calorífico de los utilizados en la práctica, las emisiones pueden resultar sobre o sub-estimadas. Si en los hogares se utiliza una leña de menor poder calorífico, entonces tendrá más gramos por MJ, aún cuando emita los mismos gramos por kg.

Nuevamente, esta unidad no toma en cuenta la eficiencia asociada al artefacto. Se requeriría considerar un valor separado para la eficiencia y cumplir ambos criterios, tanto para el del valor de g/MJin como el de la eficiencia energética. También existe la alternativa de una ponderación entre eficiencia y g/kg.

Gramos por unidad de calor liberado al recinto g/MJout .

Como se señaló, la unidad anterior no evalúa la eficiencia térmica del artefacto. Una forma de resolver esto es calcular la cantidad de material particulado emitido por unidad de calor útil liberado al recinto "g/MJout ". Esto es esencialmente el valor g/MJin dividido por la eficiencia del artefacto. También se puede expresar esta unidad en gramos de material particulado por kilowatt-hora (kWh) multiplicando por 3,6 (1 kWh = 3,6 MJ).

Existen numerosas ventajas del "g/MJout " sobre el "g/MJin ". Primero, "g/MJout " no requiere un criterio separado para la eficiencia, ya que la eficiencia está implícita en el cálculo de la unidad. Segundo, permite al diseñador del artefacto lograr la mínima emisión por unidad de calor útil. Una de las desventajas de esta unidad es que requiere la medición del calor liberado por el artefacto. Sin embargo, esto también se requiere con las dos unidades anteriores si se aplica un criterio de eficiencia.

Gramos por hora g/hr

Una cuarta posible unidad es simplemente los gramos de material particulado emitido por hora, o Tasa de Emisión. Manteniendo todo lo demás igual, un artefacto pequeño emitirá menos gramos por hora que uno grande. Mientras esto es lo que en definitiva afecta la concentración de material particulado en el aire, este enfoque tiene varios problemas. Uno es que, dependiendo del límite seleccionado, podría ser imposible de cumplir para artefactos grandes, independientemente de lo limpio de la combustión o de la eficiencia del artefacto. Por el contrario, pequeños artefactos podrían cumplir los límites a pesar de no tener ni combustión limpia ni ser eficientes. Esta unidad no considera la eficiencia térmica directamente. Sin embargo, se podría asumir que, para liberar la misma cantidad de calor, un artefacto ineficiente necesitará quemar más combustible y que aumentarán los g/hr.

En resumen:

- un valor único en g/kg no es apropiado para comparar artefactos con diferentes eficiencias y/o combustibles
- un criterio en g/MJin podría ser apropiado para diferentes combustibles, pero no considera la eficiencia del artefacto
- g/hr, siendo el más cercano a los efectos de la combustión, está fuertemente influenciado por la potencia del artefacto
- g/MJout toma en consideración la potencia y la eficiencia del artefacto

6.4 Estrategias al considerar los límites

Hay varios criterios que pueden adoptarse para seleccionar los valores límites. En resumen, estos incluyen:

- adoptar un límite que ciertos artefactos ya cumplen (por ejemplo el 90%, excluyendo el 10% de peores emisiones, para ajustar nuevamente el límite cada cierto tiempo)
- adoptar un factor por sobre el mejor artefacto disponible (por ejemplo hasta 100% superior, modificado automáticamente al certificarse un artefacto mejor)
- adoptar límites bajos para generar un desafío a los diseñadores y estimulan el desarrollo tecnológico (con el riesgo de aumentar los costos)
- adoptar un valor único para todo artefacto y combustible (basado muy cuidadosamente en la sustentabilidad en el tiempo)

- adoptar un criterio escalonado de reducción anual de los límites (gradualidad ajustada al desarrollo tecnológico)
- exigir el cumplimiento de una emisión promedio (bajo una diversidad de condiciones de operación)
- exigir el cumplimiento en cada una de las posibles tasas de quemado del artefacto

6.5 Metas del anteproyecto de norma

El anteproyecto de norma establece 2 límites: 100 y 60 mg/m³ (13% O₂), a cumplirse en un plazo de 1 año y 4 años, respectivamente. Este último valor se basa en estudios en las comunas de Temuco y Padre Las Casas que establecen 60 mg/m³ como la máxima emisión para mantener una calidad del aire aceptable en el área.

En el esquema de calidad que se ha asignado a las diferentes tecnologías de calefactores, si esta meta se compara con la serie progresiva de emisiones para artefactos de Clase I hasta Clase A, le corresponde la Clase C.

En el gráfico siguiente se muestran las emisiones y eficiencias térmicas para las clases de artefactos que ingresan en diversos períodos y la meta a alcanzar.

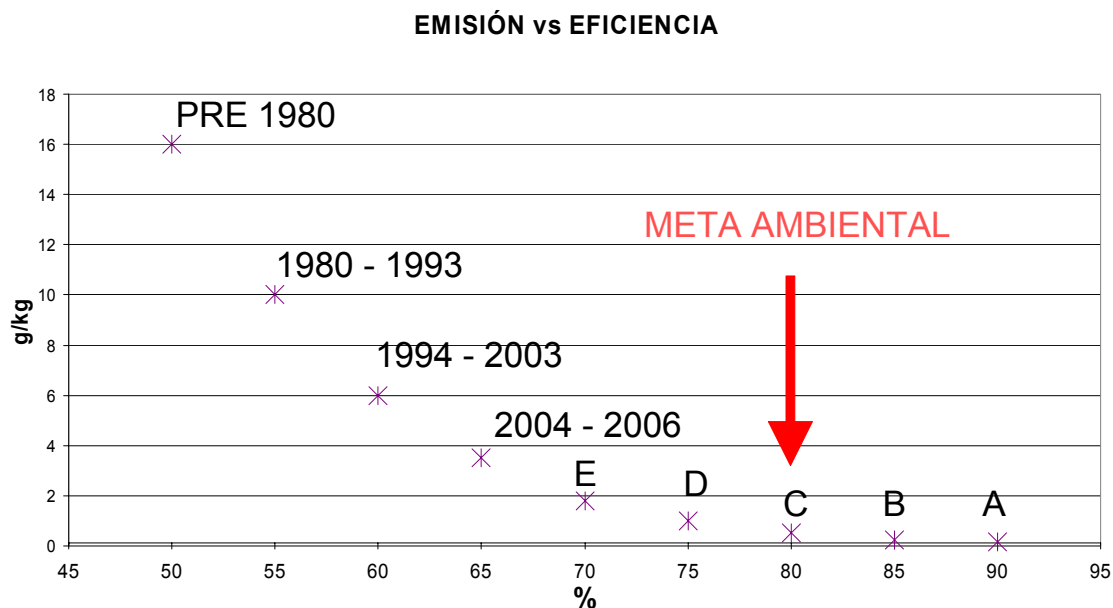


Figura 21. Evolución de las tecnologías de referencia en relación a la meta ambiental

Esta meta equivale a reducir en un factor 8 las emisiones de la tecnología actual en el país.

6.6 Potencia, tasas de quemado y eficiencia

La relación entre tasa de quemado y potencia del artefacto se establece por la siguiente tabla, dependiendo de la eficiencia energética de la combustión. Se considera la masa de combustible seco y no se considera la energía disipada por el ducto de gases. El cálculo

se basa en un contenido de energía de 18 MJ por kg de leña en masa seca. El rango de 0,6 a 3,2 kg/hora representa la mayoría de los calefactores domésticos.

Tabla 30. Potencia en kW de calor útil para diferentes tasas de quemado y diferentes eficiencias térmicas

EFIC.	TASA DE QUEMADO en kg/hr													
	%	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3
95	2.9	3.9	4.8	5.8	6.8	7.8	8.7	9.7	10.7	11.6	12.6	13.6	14.5	15.5
90	2.8	3.7	4.6	5.5	6.4	7.3	8.3	9.2	10.1	11.0	11.9	12.9	13.8	14.7
85	2.6	3.5	4.3	5.2	6.1	6.9	7.8	8.7	9.5	10.4	11.3	12.1	13.0	13.9
80	2.4	3.3	4.1	4.9	5.7	6.5	7.3	8.2	9.0	9.8	10.6	11.4	12.2	13.1
75	2.3	3.1	3.8	4.6	5.4	6.1	6.9	7.7	8.4	9.2	9.9	10.7	11.5	12.2
70	2.1	2.9	3.6	4.3	5.0	5.7	6.4	7.1	7.9	8.6	9.3	10.0	10.7	11.4
65	2.0	2.7	3.3	4.0	4.6	5.3	6.0	6.6	7.3	8.0	8.6	9.3	9.9	10.6
60	1.8	2.4	3.1	3.7	4.3	4.9	5.5	6.1	6.7	7.3	8.0	8.6	9.2	9.8
55	1.7	2.2	2.8	3.4	3.9	4.5	5.0	5.6	6.2	6.7	7.3	7.9	8.4	9.0
50	1.5	2.0	2.6	3.1	3.6	4.1	4.6	5.1	5.6	6.1	6.6	7.1	7.7	8.2
45	1.4	1.9	2.3	2.8	3.2	3.7	4.2	4.6	5.1	5.5	6.0	6.5	6.9	7.4
40	1.3	1.6	2.0	2.5	2.9	3.3	3.7	4.1	4.5	4.9	5.3	5.7	6.1	6.6

Se marcan con sombreado las potencias entre 2 y 5 kW útiles, que son las demandas típicas de uso residencial.

El límite de 70 kW para la aplicación del anteproyecto de norma equivale a una tasa de quemado de 13,8 kg/hr de combustible seco.

Se estima importante que la norma evalúe todas las tasas de quemado con que los artefactos puedan operar.

6.7 Ciclo de quemado, emisiones, tasa de quemado y toma de muestras

En el caso particular de los artefactos domésticos que combustionan leña, la operación real se realiza en forma cíclica. Cada ciclo puede durar 1 o varias horas y cambian considerablemente las condiciones de combustión durante dicho período. Por esta razón, resulta difícil asignar una condición única como típica o característica, representativa de todo el ciclo.

Las fases principales de un ciclo típico de operación son:

Encendido. El artefacto y el combustible se encuentran a temperatura ambiente, es necesario inyectar calor durante un período inicial, ya que la combustión no es automantenida y requiere algún combustible auxiliar de fácil ignición. Este proceso dura 10 a 20 minutos, al cabo del cual se ha alcanzado un tiraje y una temperatura que mantienen espontáneamente la gasificación del combustible, a partir del propio calor de combustión. Las emisiones en esta fase se caracterizan por una elevada concentración de material particulado, en forma de humo visible.

Gasificación y combustión sostenida. El artefacto se encuentra a una temperatura elevada y el calor generado es suficiente para una intensa gasificación, limitada solamente por la cantidad de aire de combustión disponible, generalmente regulable por el usuario según sus requerimientos de calor. Esta cantidad de aire debiera ser dosificada, suficiente para la completa combustión de los gases y, a la vez, para mantener una tasa de quemado

estable. Las emisiones en esta fase son bajas en relación a la cantidad de combustible quemado.

Combustión de combustible carbonizado. El artefacto disminuye gradualmente su temperatura, dependiendo de su capacidad calorífica, manteniendo la combustión de brasas, sin llama, con una baja tasa de quemado. Las emisiones en esta fase son algo mayores que la anterior en cuanto a material particulado y mucho mayores en cuanto a monóxido de carbono.

Recarga. El artefacto recibe una nueva carga de combustible, disminuyendo su temperatura. Al cabo de unos minutos de contacto entre el combustible y las brasas, en presencia de abundante aire, se reinicia la ignición hasta alcanzar nuevamente la fase 2. Este proceso dura 5 a 10 minutos. Las emisiones en esta fase son menores a la fase 1, pero considerablemente mayores a la fase 2, dependiendo de la capacidad del artefacto de mantener una temperatura elevada, aún con el combustible agregado a temperatura ambiente.

Apagado. En caso de no agregarse nueva carga de combustible, el artefacto continúa descendiendo su temperatura y su tasa de quemado, disipando el calor acumulado durante un lapso que depende de su capacidad calorífica. El proceso en esta fase es similar a la fase 3, pero progresivamente más lento.

Por lo tanto, no es posible representar todas las fases del ciclo de operación mediante una medición simple, requiriéndose un protocolo de operación que considere las diferentes fases y sus posibles variaciones en el uso real.

Tanto las emisiones en g/hr como en mg/m³ dependen de la tasa de quemado, siendo la equivalencia entre g/hr y mg/m³ la siguiente, en que cada valor de la tabla representa la emisión en mg/m³ para dicha tasa de quemado y emisión unitaria.

En el gráfico siguiente, cada celda indica un valor en mg/m³, para la matriz de tasas de quemado y emisiones en g/hr.

Se marcan en colores las zonas permitidas por diversas normas.

Tabla 31. Valores de emisión en mg/m³, para Tasa de Emisión TE en g/hr vs tasa de quemado en kg/hr

TE g/hr	TASA DE QUEMADO en kg/hr													
	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2
10	1383	1037	830	692	593	519	461	415	377	346	319	296	277	259
9,5	1314	985	788	657	563	493	438	394	358	328	303	282	263	246
9	1245	934	747	622	533	467	415	373	339	311	287	267	249	233
8,5	1176	882	705	588	504	441	392	353	321	294	271	252	235	220
8	1107	830	664	553	474	415	369	332	302	277	255	237	221	207
7,5	1037	778	622	519	445	389	346	311	283	259	239	222	207	195
7	968	726	581	484	415	363	323	290	264	242	223	207	194	182
6,5	899	674	539	450	385	337	300	270	245	225	207	193	180	169
6	830	622	498	415	356	311	277	249	226	207	192	178	166	156
5,5	761	571	456	380	326	285	254	228	207	190	176	163	152	143
5	692	519	415	346	296	259	231	207	189	173	160	148	138	130
4,5	622	467	373	311	267	233	207	187	170	156	144	133	124	117
4	553	415	332	277	237	207	184	166	151	138	128	119	111	104
3,5	484	363	290	242	207	182	161	145	132	121	112	104	97	91
3	415	311	249	207	178	156	138	124	113	104	96	89	83	78
2,5	346	259	207	173	148	130	115	104	94	86	80	74	69	65
2	277	207	166	138	119	104	92	83	75	69	64	59	55	52
1,5	207	156	124	104	89	78	69	62	57	52	48	44	41	39
1	138	104	83	69	59	52	46	41	38	35	32	30	28	26
0,5	69	52	41	35	30	26	23	21	19	17	16	15	14	13

En la tabla anterior se muestran en colores las siguientes zonas:

- color lavanda: rango de emisiones que cumple anteproyecto de norma al año 4
- color verde: rango de emisiones que cumple anteproyecto de norma al año 1
- color celeste: rango de emisiones norma europea CEN (propuesta)
- color blanco: rango de emisiones que cumple 4,5 g/hr (propuesta RM 2008)
- color amarillo: rango de emisiones que cumple 7,5 g/hr (EPA 1992)
- color rosa: rango de emisiones que no cumple ningún límite

Las diferentes normas especifican diferentes métodos para la toma de muestras de MP de los calefactores.

Las normas EPA y canadiense especifican la toma de 4 muestras a diferente tasa de quemado: < 0,8 kg/hr, 0,8 a 1,25 kg/hr, 1,25 a 1,9 kg/hr y > 1,9 kg/hr.

Las normas australiana y neozelandesa especifican 3 tasas de quemado: mínima, máxima e intermedia, sin indicar valores absolutos, sino referidos al rango de tasas de quemado del artefacto a ensayar.

La norma europea sólo considera la potencia nominal del calefactor, por lo que no evalúa esta variable. Habitualmente, la potencia nominal especificada por el fabricante es la potencia media entregada por el artefacto en su regulación máxima.

El anteproyecto de norma sigue el método norteamericano y se consideran 4 muestras, pero se diferencia de dicho método en que toma el peor valor de los 4 en lugar de un promedio ponderado.

Se estima que el procedimiento de toma de muestras es fundamental para que los límites de la norma regulen efectivamente los diferentes períodos de quemado de leña.

6.8 Comparación de métodos y normas

Tabla 32. Resumen de normativas sobre ensayos de artefactos a leña

PAIS	NOMBRE	TIPO		OBJETIVO		ENSAYO	INDICADOR	LÍMITES
		Norma	Método	Eficiencia	Emisiones			
EE UU	NSPS Title 40 CFR Part 60 Subpart AAA 1995 Método 5G	X		X	X	Túnel de dilución	% eficiencia MPT promedio por hora	7,5 g/hr
EE UU	NSPS Title 40 CFR Part 60 Appendix A Method 5H		X		X	Medición MP en chimenea	MPT promedio por hora	
EE UU	NSPS Title 40 CFR Part 60 Subpart AAA 1995 Métodos 28, 28A		X	X	X	Pino dimensionado 2x2" o 4x4" 4 tasas de quemado	Parámetros de operación	
CANADÁ	CAN/CSA B415.1	X	X	X	X	Similar 5G	Promedio MPT por hora	7 g/hr
AUS/NZ	AS/NZS4012: 1999		X	X		Cámara calorimétrica 3 tasas de quemado	% eficiencia Potencia útil en kW	Sólo rotular
AUS/NZ	AS/NZS4013: 1999	X	X	X		Túnel de dilución	Factor MP en g a masa seca en kg	4 g Australia 1,5 g Nueva Zelanda
EUROPA	ISO 13336 (ISO/TC 116SC)		X	X	X	Túnel de dilución Muestreo a flujo constante Cámara calorimétrica	MPT % eficiencia	% eficiencia a definir
EUROPA	CEN/TC 13240		X	X	X	Medición MP en chimenea Eficiencia indirecta calculada por pérdidas	Temperatura gases, CO ₂ , CO	CO<2500 mg/m ³ MP<150 mg/m ³ HC<100 mg/m ³

DINAMARCA	DS887-2	X	X	X	X	Medición en chimenea	% eficiencia, CO, CO2, temperatura superficial, fugas de aire	CO<0.3% @7.5% CO2 min. 70% eficiencia
ALEMANIA	DIN18891		X	X	X	Medición en chimenea Eficiencia calculada	CO, CO2, temperatura	0.4% CO normalizado a 13% O2
SUECIA	SP 1425	X	X		X	Medición en chimenea	CO, HC, MP, COG	MP <40mg/MJ de entrada 250 mg. OGC por m ³ gas seco a 10% CO2
NORUEGA	Method A-D	X	X		X	Túnel de dilución 4 tasas de quemado	MP, CO, CO2, temperatura, HC aromáticos policíclicos (PAH)	10 g/kg masa seca
AUSTRIA	EN 303-5	X	X		X		CO, NOx, HC	MP<60mg/MJ MP<1.2g/kg CO<1100 mg/MJ NOx<150 mg/MJ HC<80 mg/MJ
GRAN BRETAÑA	BS 7256:1990	X			X		Humo visible	MP< 5.5g/kg

Los métodos de EE UU, Canadá y Noruega son relativamente similares y compatibles entre sí. Están orientados principalmente a las emisiones de material particulado, siendo la eficiencia sólo de carácter informativo. Comparten un protocolo equivalente, pero utilizan diferentes parámetros para evaluar las emisiones de particulado: g/hr y g/kg. En particular, el método 28-A estipula diversas restricciones para evitar la manipulación indebida de los artefactos por el usuario.

Las normas europeas, en cambio, están orientadas preferentemente a evaluar las emisiones de CO y en segundo lugar la eficiencia energética. En Austria y Suecia se consideran indicadores que incluyen la eficiencia energética. La norma armonizada para la Unión Europea aún no es aprobada, por lo que cada país mantiene su propio sistema hasta la fecha.

6.9 Emisiones típicas de equipos extranjeros

A modo de ejemplo, se citan resultados de un estudio realizado por CANMET (Canadian Centre for Mineral and Energy Technology) sobre todo tipo de calefactores, en uso en Canadá, encontrando que:

Tabla 33. Caracterización de artefactos según emisiones, en Canadá

ESTUFAS	mg/MJ	CLASE EQUIVALENTE
Promedio estufas no certificadas	1.680	I
Promedio estufas certificadas	440	G
Mejor estufa (pellets)	19	B
Fuente: CANMET		

A su vez, la norma canadiense CSA-B415.1 especifica un límite de 137 mg/MJ, es decir, permite la venta de artefactos Clase E o mejores.

En Australia se evaluaron las emisiones de diferentes artefactos ofrecidos en el mercado en 2005, encontrándose una distribución amplia entre 0,9 y 3,9 g/kg, con una mediana de 2,6 g/kg. (ver figura siguiente) (Fuente: Department of the Environment and Heritage, Australia, 2006)

DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE FACTORES DE EMISIÓN

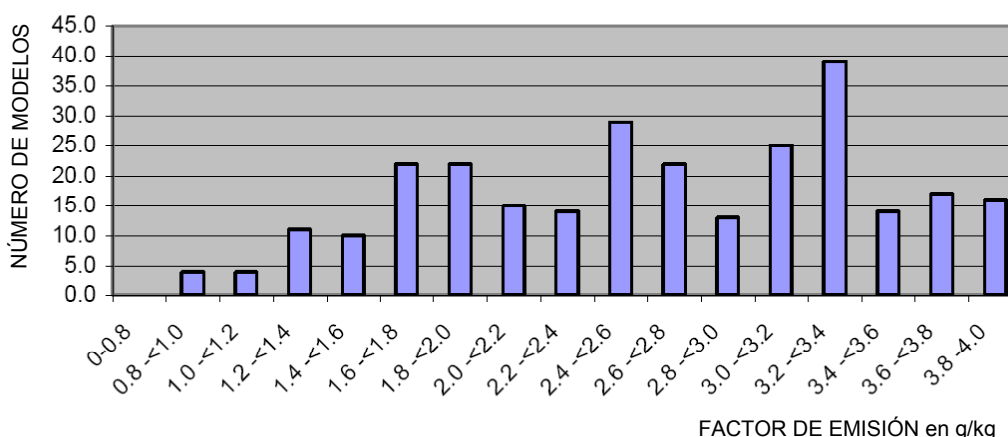


Figura 22. Distribución estadística de factores de emisión de calefactores en Australia

Esta distribución refleja el efecto de una norma que limita a un máximo de 4 g/kg, demostrando que el desarrollo tecnológico se adelanta más allá de la exigencia administrativa de la norma.

Figura 23. Distribución estadística de calefactores en Australia (2005)

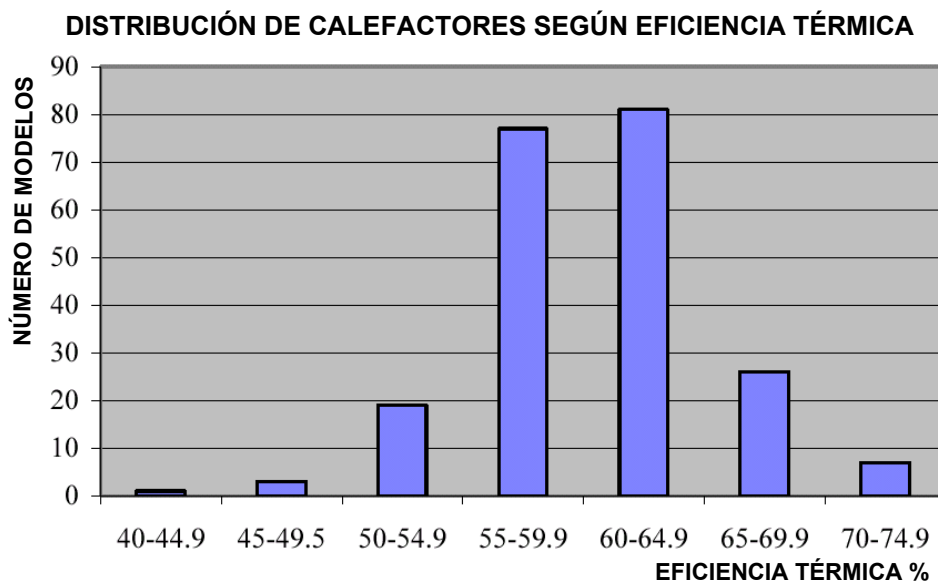
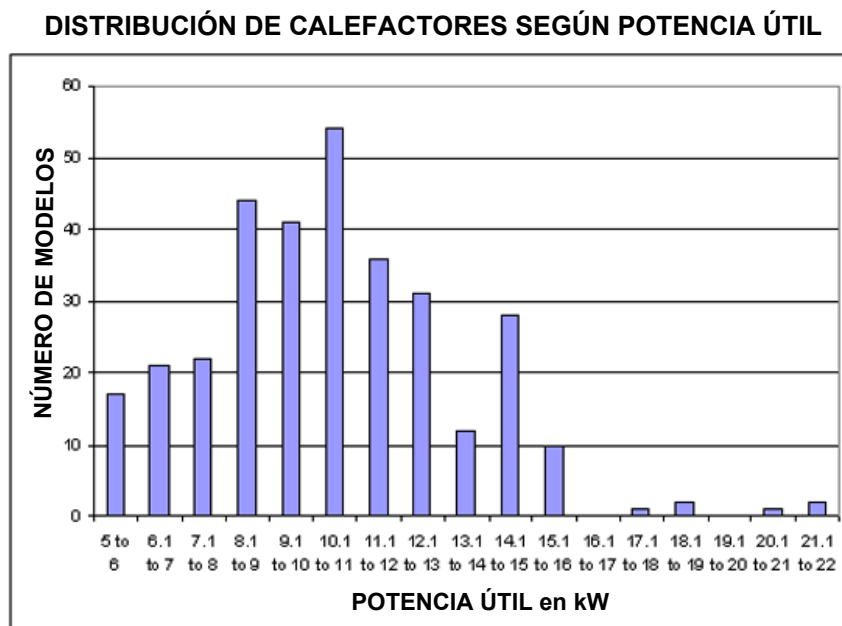


Figura 24. Distribución estadística de calefactores según potencia útil



En cuanto a las emisiones reales versus las mediciones de laboratorio, algunos estudios muestran una enorme diferencia y dispersión.

Por ejemplo, Fisher, 2000, midió en Oregon, EE UU, un número de artefactos en uso, con los resultados del siguiente gráfico en g/hr, donde se observa una gran dispersión y un ratio de aprox. 3,5 veces los valores de laboratorio.

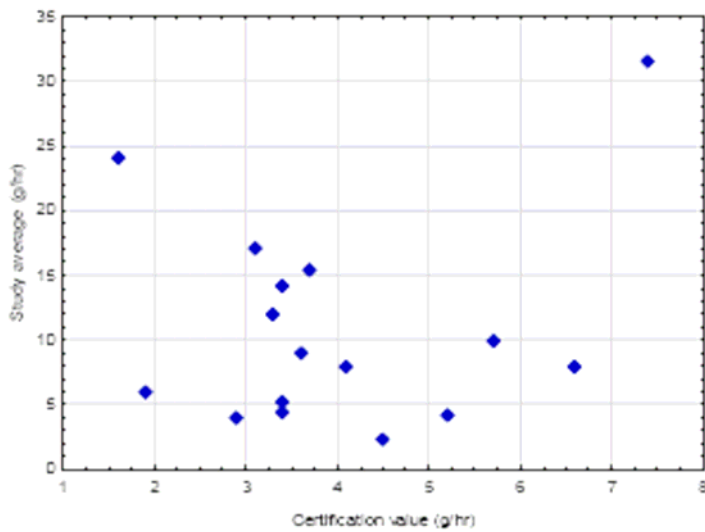


Figura 25. Comparación de ensayos en condiciones reales vs ensayos de laboratorio en Oregon, EE UU

El año 2006 se publicó un estudio en Nueva Zelanda sobre calefactores anteriores al año 1994, cuando entró en vigencia la normativa, determinando que los calefactores antiguos, ensayados en laboratorio, presentan emisiones con una mediana de 10,4 g/kg, lo que es 7 veces superior al límite actual de 1,5 g/kg. (Fuente: Environment Waikato Technical Report 2006/05)

FACTORES DE EMISIÓN DE CALEFACTORES PRE-NORMA 1994

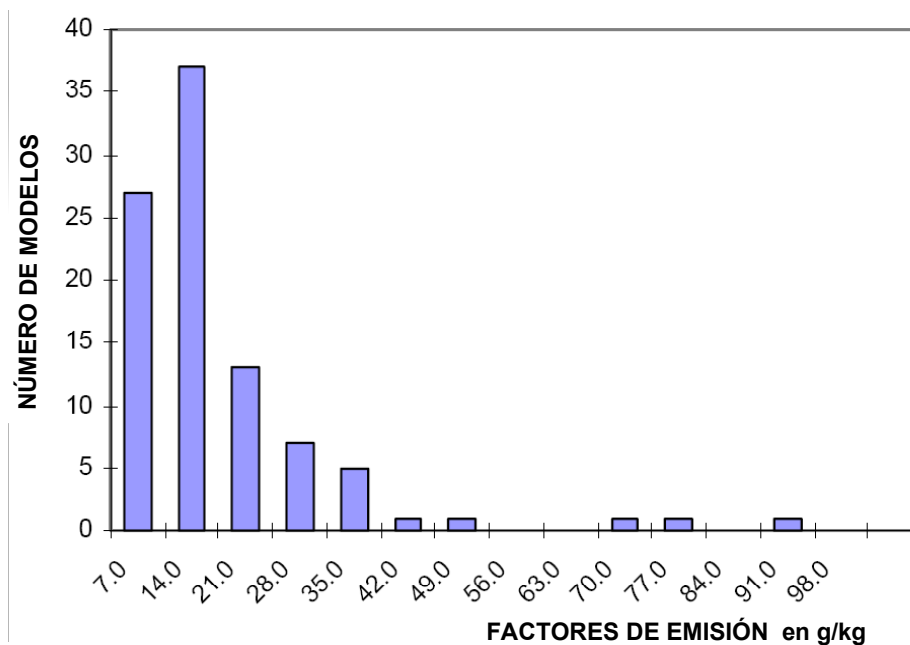


Figura 26. Distribución de factores de emisión de artefactos pre 1994 en

Nueva Zelanda

En el año 2004, Scott realizó un estudio en Nueva Zelanda para medir las emisiones reales cuyos ensayos de laboratorio arrojaban resultados entre 0,6 y 1,2 g/kg. Las pruebas fueron realizadas con los artefactos manipulados por los propios usuarios, encontrando una emisión media de 9,9 g/kg, es decir 1 orden de magnitud mayores que en laboratorio. Los resultados se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 34. Factores reales de emisión de equipos post 1994 en Nueva Zelanda

Descriptor	Factor de emisión	Tasa de emisión
	g/kg	g/hr
Media	15.5	24.1
Mediana	13.0	17.5
Mínimo	1.9	2.7
Maximo	36.0	85.2
Percentil 25	7.7	10.2
Percentil 75	23.0	32.0
Desviación estándar	9.9	21.4
Fuente: (Scott, 2005)		

La importancia de conocer esta relación entre factores reales y factores de emisión nominales es la necesidad de estimar los impactos ambientales del uso de los calefactores.

Uno de los métodos es asignar el factor de emisión a un artefacto según su tecnología. Por ejemplo, se muestran en el cuadro a continuación los factores, en mg/MJ usados en los países nórdicos para modelar las emisiones de MP 2.5, para diferentes tecnologías de calefacción.

Tabla 35. Factores de emisión utilizados en países nórdicos según tecnología

CATEGORÍA	FACTOR DE EMISIÓN EN mg/MJ (PM 2.5)			
	Dinamarca	Finlandia	Noruega	Suecia
Salamandras	2000	2000	2000	2000
Chimeneas		800	800	800
Estufas modernas certificadas			300	
Calderas a pellets	30	30	30	30
Estufas a pellets				20
Promedio artefactos residenciales	1100	200	1800	480

6.10 Emisiones de equipos en el mercado en relación a normas

Representando gráficamente, en el mismo esquema de la Tabla 30, los resultados de ensayos realizados a calefactores en 2006 por SERPRAM, bajo diferentes tasas de quemado, se encuentra la siguiente distribución, en que cada valor representa la emisión en mg/m³ para dicha tasa de quemado y emisión unitaria en g/kg:

TE g/hr	TASA DE QUEMADO en kg/hr													
	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2
10	1383	1037	830	692	593	519	461	415	377	346	319	296	277	259
9,5	1314	985	788	657	563	493	438	394	358	328	303	282	263	246
9	1245	934	747	622	533	467	415	373	339	311	287	267	249	233
8,5	1176	882	705	588	504	441	392	353	321	294	271	252	235	220
8	1107	830	664	553	474	415	369	332	302	277	255	237	221	207
7,5	1037	778	622	519	445	389	346	311	283	259	239	222	207	195
7	968	726	581	484	415	363	323	290	264	242	223	207	194	182
6,5	899	674	539	450	385	337	300	270	245	225	207	193	180	169
6	830	622	498	415	356	311	277	249	226	207	192	178	166	156
5,5	761	571	456	380	326	285	254	228	207	190	176	163	152	143
5	692	519	415	346	296	259	231	207	189	173	160	148	138	130
4,5	622	467	373	311	267	233	207	187	170	156	144	133	124	117
4	553	415	332	277	237	207	184	166	151	138	128	119	111	104
3,5	484	363	290	242	207	182	161	145	132	121	112	104	97	91
3	415	311	249	207	178	156	138	124	113	104	96	89	83	78
2,5	346	259	207	173	148	130	115	104	94	86	80	74	69	65
2	277	207	166	138	119	104	92	83	75	69	64	59	55	52
1,5	207	156	124	104	89	78	69	62	57	52	48	44	41	39
1	138	104	83	69	59	52	46	41	38	35	32	30	28	26
0,5	69	52	41	35	30	26	23	21	19	17	16	15	14	13

Figura 27. Tasas de emisión de artefactos nacionales según tasa de quemado y tasa de emisión (Elaboración propia)

Cada marca roja representa una cierta condición de operación de un artefacto, por lo que las 22 marcas corresponden a sólo 5 artefactos diferentes. Este diagrama muestra los rangos de tasas de quemado, tasas de emisión y factores de emisión de los calefactores actualmente en el mercado nacional.

En las figuras siguientes se muestran las distribuciones acumulativas de las 22 muestras de los mismos artefactos medidos, evaluadas con un parámetro distinto en cada gráfico.

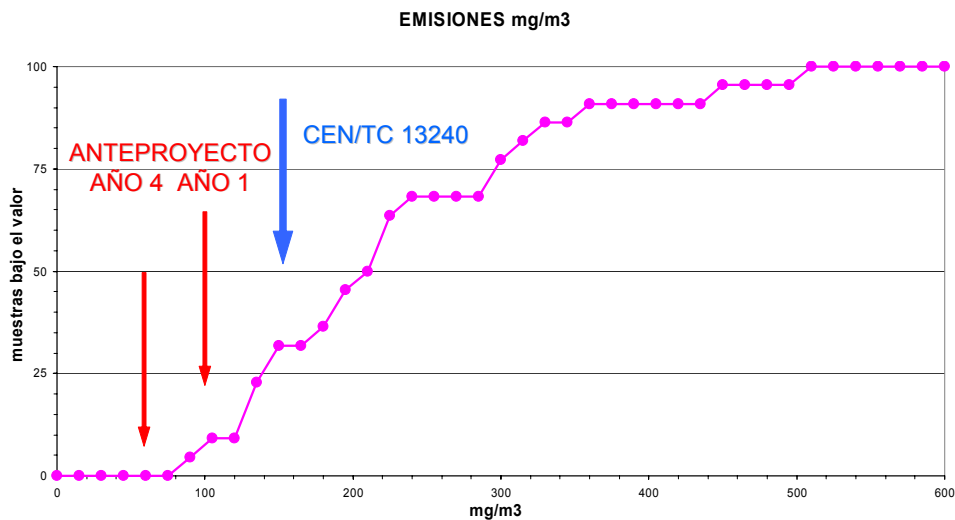


Figura 28. Distribución acumulativa de calefactores nacionales que exceden el nivel en mg/m3 (las flechas rojas marcan los límites propuestos) (Elaboración propia sobre datos SERPRAM 2006)

La mediana de las muestras nacionales para este parámetro es 212 mg/m3.

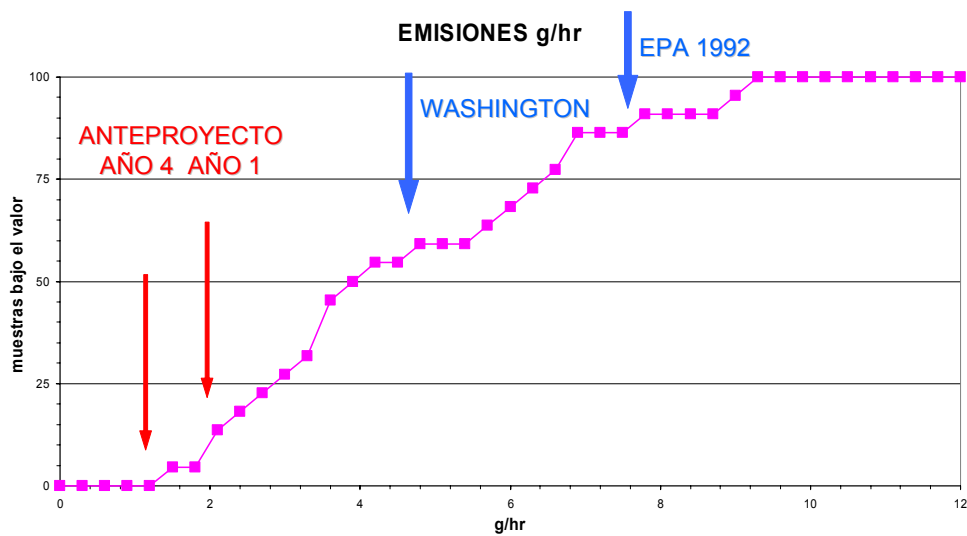


Figura 29. Distribución acumulativa de calefactores nacionales que exceden el nivel en g/hr (las flechas rojas marcan los límites propuestos) (Elaboración propia sobre datos SERPRAM 2006)

La mediana de las muestras nacionales para este parámetro es 4,0 g/hr.

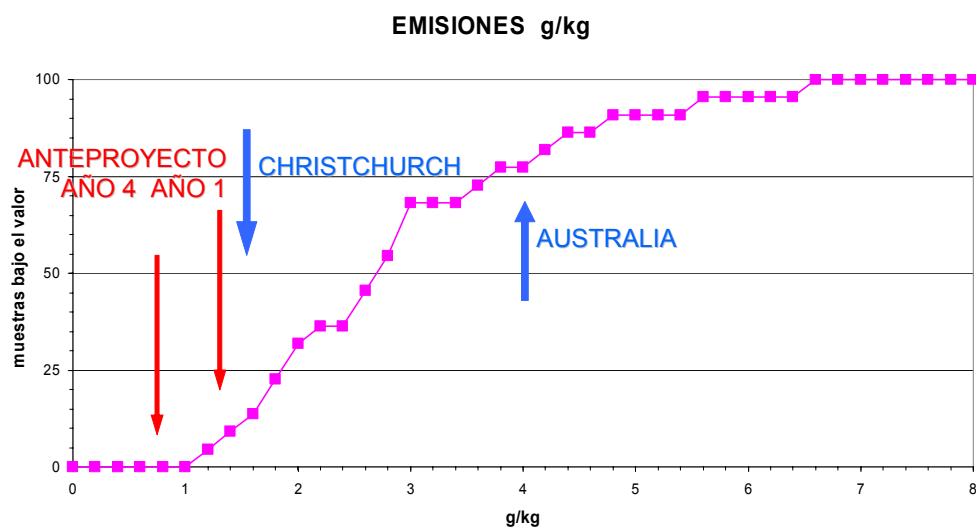


Figura 30. Distribución acumulativa de calefactores nacionales que exceden el nivel en g/kg (las flechas rojas marcan los límites propuestos) (Elaboración propia sobre datos SERPRAM 2006)

La mediana de las muestras nacionales para este parámetro es 2,7 g/kg.

Se puede concluir que todos los artefactos, en prácticamente todas sus condiciones de operación estarían sobre los límites de emisión del anteproyecto de norma, cualquiera sea el parámetro que se utilice.

Los valores de la mediana son los valores de emisiones para los que el 50% de las muestras observadas excedió el valor, y representan las emisiones medias de los artefactos ensayados bajo el método 28 EPA, los que a su vez representan la calidad típica de los artefactos de la tecnología disponible actualmente en Chile.

7 ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES BAJO ESCENARIOS FUTUROS

7.1 Definición de escenarios para los 4 períodos futuros

Para modelar la evolución futura del stock de calefactores se crearon 4 escenarios con diferentes valores de los parámetros, utilizando las clases de artefactos definidas anteriormente.

Escenario 0, corresponde a la situación actual proyectada sin la normativa propuesta, con los siguientes supuestos:

- El mercado evoluciona espontáneamente, algo menos dinámico que en los últimos años, y tiende a estabilizarse con un leve mejoramiento tecnológico
- Tasa inicial de crecimiento de ventas de 15 %, tendiendo a 10%
- Entran artefactos clase F, algo mejores que los actuales
- La tasa informal se mantiene en 10% de las ventas formales
- La tasa de recambio se mantiene en 5%

Este escenario representa la línea de base, simulando lo que presumiblemente ocurriría si no se dicta una norma.

Escenario 1, corresponde a la situación con anteproyecto de norma, con los siguientes supuestos:

El mercado se contrae fuertemente por la disminución de la oferta y una fuerte alza de los precios de artefactos, quedando los productos actuales fuera de mercado. Los artefactos usados son valorizados y no se recambian

- Tasa inicial de descenso de ventas de 50 %, recuperando un 10% al segundo año, descendiendo a 0% luego del nuevo cambio y retomando el 5%
- Entran artefactos clase D y luego C, substancialmente mejores que los actuales
- La tasa informal sube a 20% de las ventas formales
- La tasa de recambio baja a 0% y luego se incrementa hasta 3%

Este escenario representa la aplicación de la norma en los términos del anteproyecto, con límites al año y a los 4 años, llegando a la meta de emisiones a partir del año 2011.

Escenario 2, corresponde a la situación con una norma 1 clase más restrictiva que el Escenario 0, con los siguientes supuestos:

La industria absorbe, por una vez, el mejoramiento tecnológico y los consumidores absorben el aumento de precios, sin frenar la expansión actual

- Tasa inicial de crecimiento de ventas de 15 %, tendiendo a 10%
- Entran artefactos clase E, 1 clase mejores que los actuales
- La tasa informal se mantiene en 10% de las ventas formales
- La tasa de recambio se mantiene en 5%

Este escenario representa los efectos de una norma similar a la en aplicación en el estado de Washington, EE UU, que equivale a reducir a la mitad las actuales emisiones.

Escenario 3, corresponde a la situación actual con una norma gradual que restringe 1 clase a la vez, con los siguientes supuestos:

La industria desarrolla nuevos productos que en plazos de 2, 5 y 9 años introducen artefactos 2, 4 y 8 veces menos contaminantes y/o más eficientes, mientras que los productos sufren un alza significativa en los precios, lo que frena el crecimiento anual al 5%

- Tasa inicial de crecimiento de ventas de 10 %, tendiendo a 5%
- Entran artefactos clase F, luego E, luego D y luego C, llegando al mismo valor que el anteproyecto
- La tasa informal baja a 5% de las ventas formales
- La tasa de recambio se mantiene en 5%

Este escenario representa una norma que reduce gradualmente los límites, en un 50% cada vez, hasta llegar a la meta de emisiones en el año 2015.

Escenario 4, corresponde al Escenario 0, además del retiro acelerado de un 5% adicional al recambio espontáneo.

Este escenario representa una acción orientada a disminuir las emisiones por la vía de retirar equipos contaminantes y reemplazarlos por la tecnología existente en la actualidad.

Los factores de emisión utilizados corresponden a los factores "reales" estimados anteriormente para cada tipo de artefacto, y que tienen los siguientes valores.

Tabla 36. Factores de emisión y eficiencia térmica utilizados en la modelación

CLASE	DESCRIPCION TECNOLOGÍA TÍPICA	EFICIENCIA TÉRMICA	EMISION MÁSCA "REAL"
	(sólo a modo de ejemplos)	%	g/kg leña
I	Salamandra o estufa artesanal	50	80
H	Estufa combustión simple	55	50
G	Estufa doble cámara básica	60	30
F	Estufa doble cámara 5 g/hr	65	18
E	Estufa doble cámara 3 g/hr	70	9
D	¿Estufa doble cámara y tiro forzado 2 g/hr?	75	5
C	¿Estufa pellets?	80	2,5

En ningún escenario se consideran clases B ni A.

Se supone que la demanda térmica por hogar es la misma, por lo que los consumos de leña son diferentes según la clase de artefacto.

En la tabla siguiente se muestra un resumen de los parámetros de simulación para cada

escenario.

Tabla 37. Parámetros de entrada para 5 escenarios futuros modelados

ESCENARIO	DESCRIPCIÓN	DATOS DE ENTRADA				
			TASA AUMENTO	CLASE ARTEFAC.	TASA INFORMAL	TASA RECAMBIO
0	SIN NORMA (BUSINESS AS USUAL)	2008	15	F	10%	5%
		2009-2011	10	F	10%	5%
		2012-2015	8	F	10%	5%
		2016-2020	8	F	10%	5%
1	CON ANTEPROYECTO DE NORMA	2008	-50	D	20%	0%
		2009-2011	10	D	20%	1%
		2012-2015	0	C	20%	2%
		2016-2020	5	C	20%	3%
2	CON NORMA WASHINGTON	2008	15	E	10%	5%
		2009-2011	10	E	10%	5%
		2012-2015	8	E	10%	5%
		2016-2020	8	E	10%	5%
3	CON NORMA GRADUAL	2008	10	F	5%	5%
		2009-2011	5	E	5%	5%
		2012-2015	5	D	5%	5%
		2016-2020	5	C	5%	5%
4	SIN NORMA + RETIRO ACELERADO 5% VENTAS	2008	15	F	10%	10%
		2009-2011	10	F	10%	10%
		2012-2015	8	F	10%	10%
		2016-2020	8	F	10%	10%

Con los datos de entrada del modelo para el año 2006 se extendió la modelación hasta el año 2020 para los 8 escenarios anteriores, obteniéndose los resultados que se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 38. Evolución del stock de artefactos para los 5 escenarios modelados

ESCENARIO		RESULTADOS EN MILES DE CALEFACTORES			
		2008	2011	2015	2020
0	ENTRAN	115	175	256	412
	SALEN	32	40	57	88
	STOCK	1.200	1.594	2.375	3.894
1	ENTRAN	50	67	97	157
	SALEN	10	11	14	18
	STOCK	1.151	1.319	1.641	2.281
2	ENTRAN	115	175	256	412
	SALEN	32	40	57	88
	STOCK	1.200	1.594	2.375	3.894
3	ENTRAN	110	146	214	345
	SALEN	32	39	53	79
	STOCK	1.195	1.525	2.156	3.399
4	ENTRAN	115	175	256	412
	SALEN	43	53	75	117
	STOCK	1.189	1.545	2.261	3.657
Fuente: Elaboración propia					

Los stocks resultantes se muestran en los siguientes gráficos, entre los años 1990 y 2020.

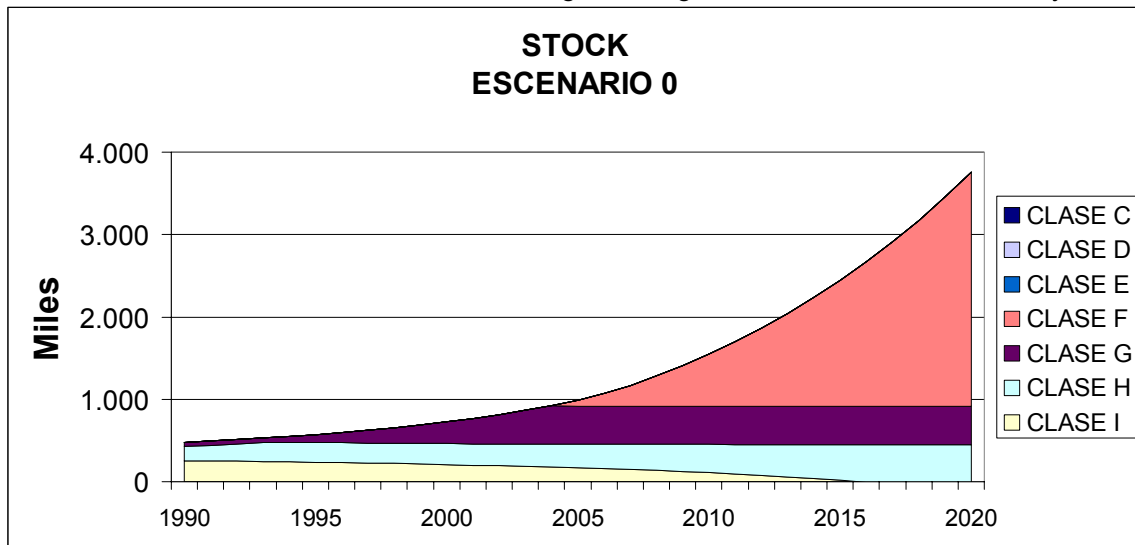


Figura 31. Stock de artefactos para el Escenario 0: Línea Base. (Elaboración propia)

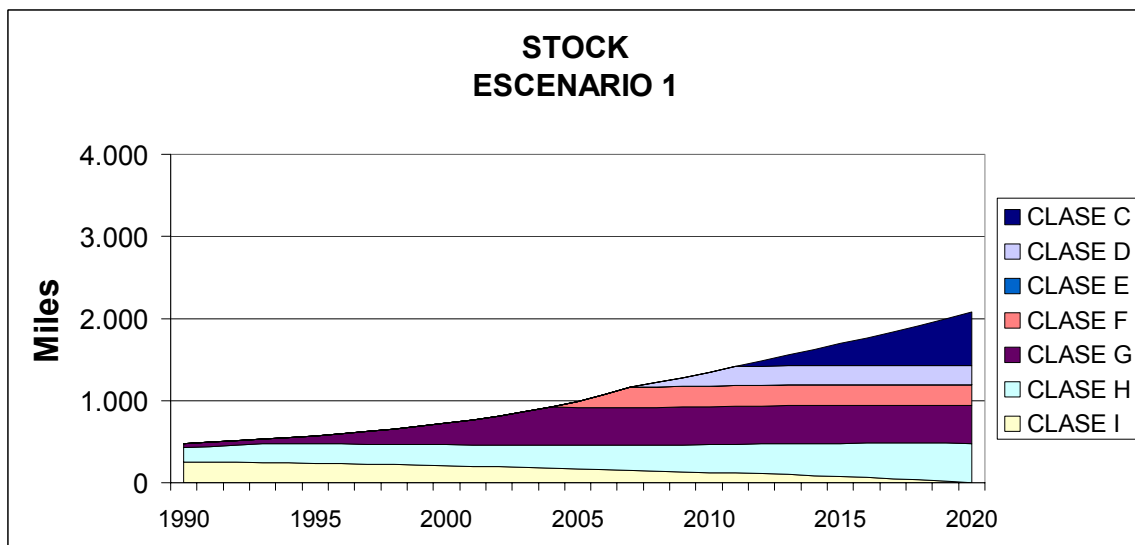


Figura 32. Stock de artefactos para el Escenario 1: Anteproyecto. (Elaboración propia)

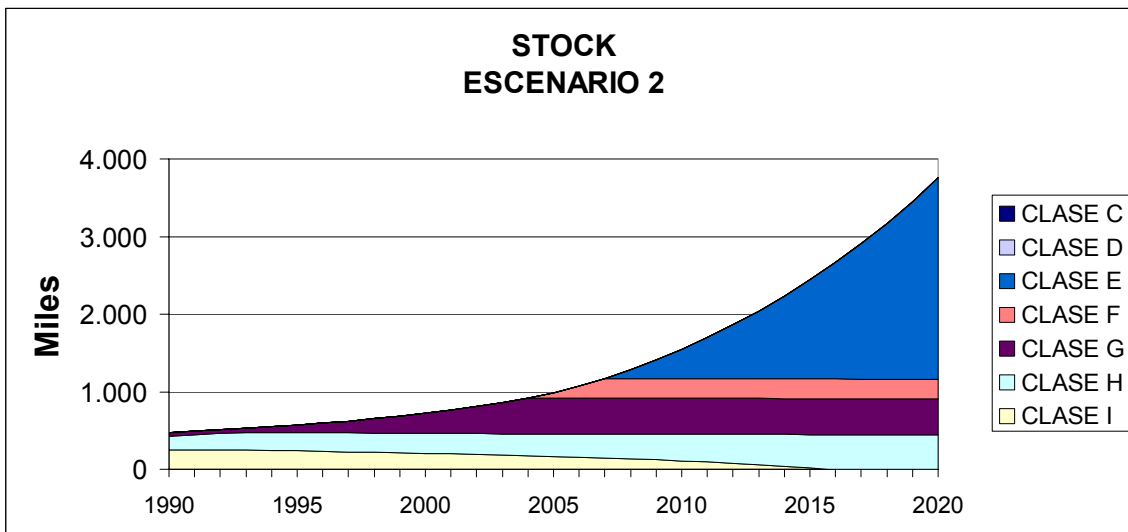


Figura 33. Stock de artefactos para el Escenario 2: Washington. (Elaboración propia)

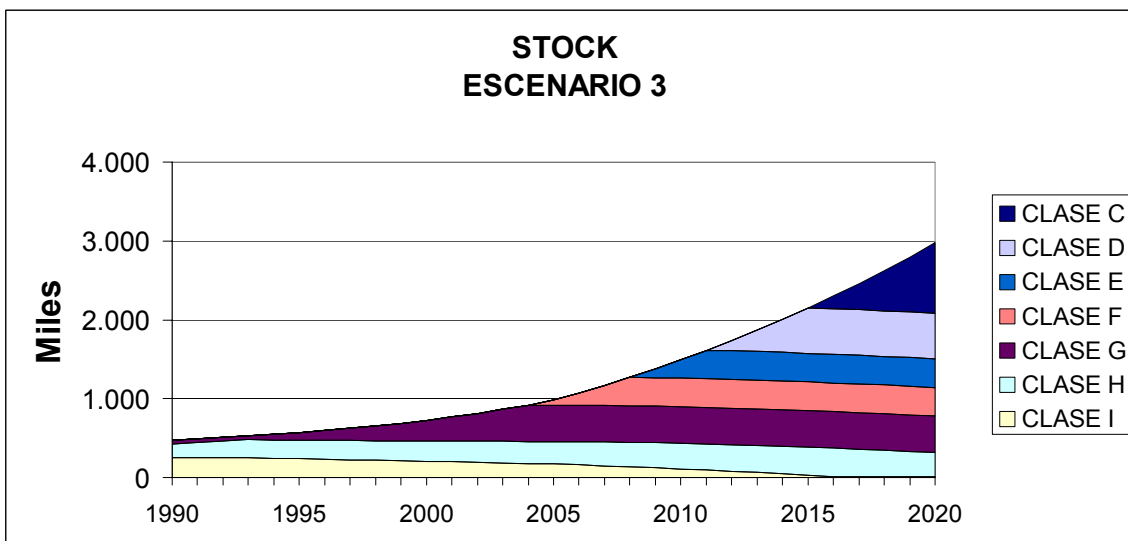


Figura 34. Stock de artefactos para el Escenario 3: Gradual. (Elaboración propia)

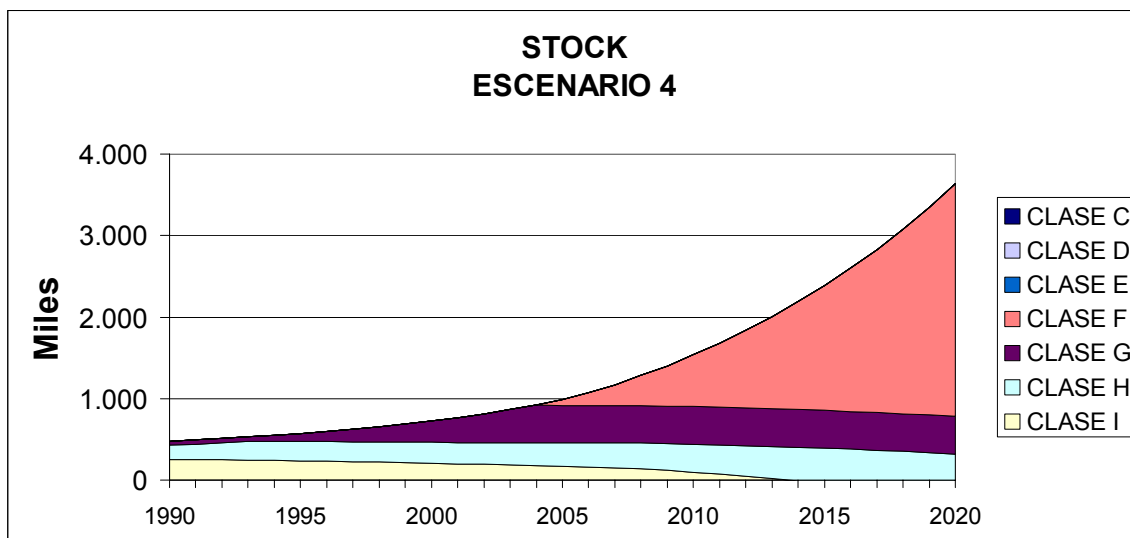


Figura 35. Stock de artefactos para el Escenario 4: Retiro acelerado. (Elaboración propia)

7.2 Emisiones estimadas

En la tabla siguiente se resumen las emisiones agregadas a nivel país en miles de toneladas, para horizontes de 2008, 2011, 2015 y 2020.

Tabla 39. Modelación de emisiones en Miles de Ton según escenario

ESCENARIO	2008	2011	2015	2020
0 (LÍNEA BASE)	99	108	143	211
1 (ANTEPROYECTO)	98	96	93	91
2 (WASHINGTON)	96	95	109	137
3 (GRADUAL)	96	87	82	69
4 (RETIRO ACELERADO)	97	104	133	190

Estas emisiones se desagregan según clase de artefactos de la siguiente manera:

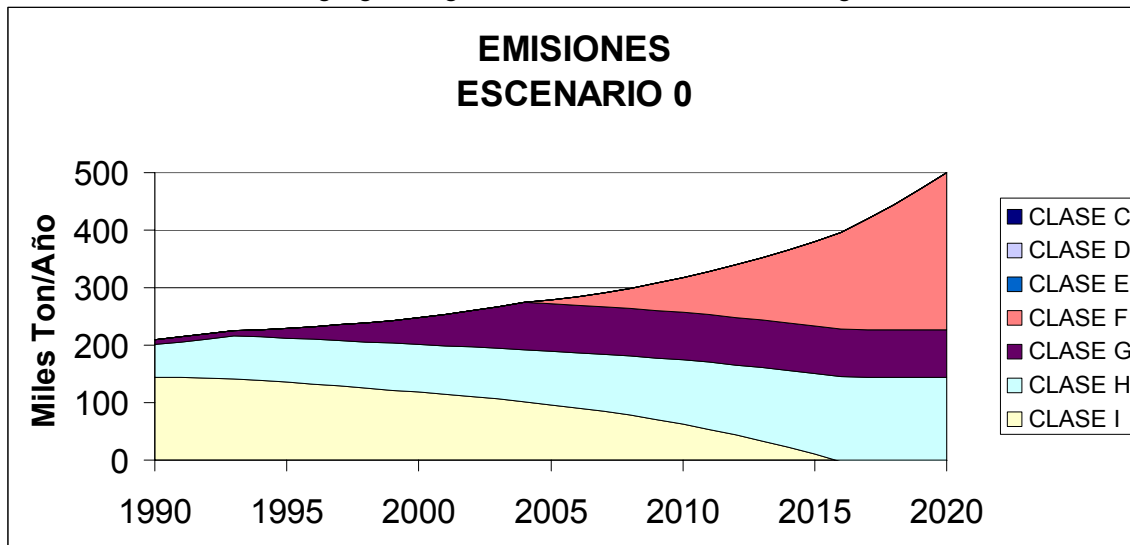


Figura 36. Emisiones por clase de artefacto para el Escenario 0: Línea Base (Elaboración propia)

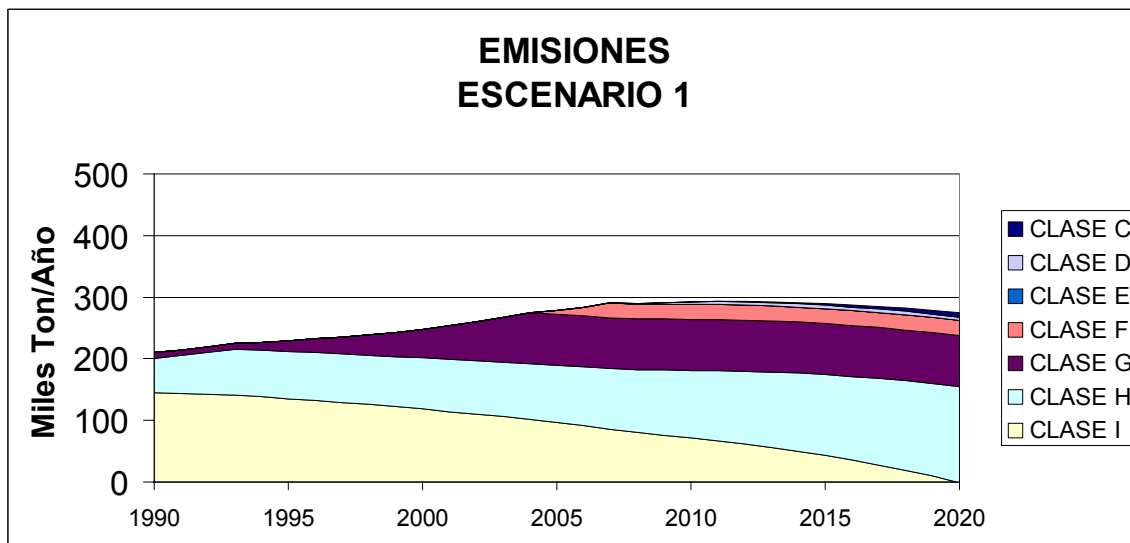


Figura 37. Emisiones por clase de artefacto para el Escenario 1: Anteproyecto (Elaboración propia)

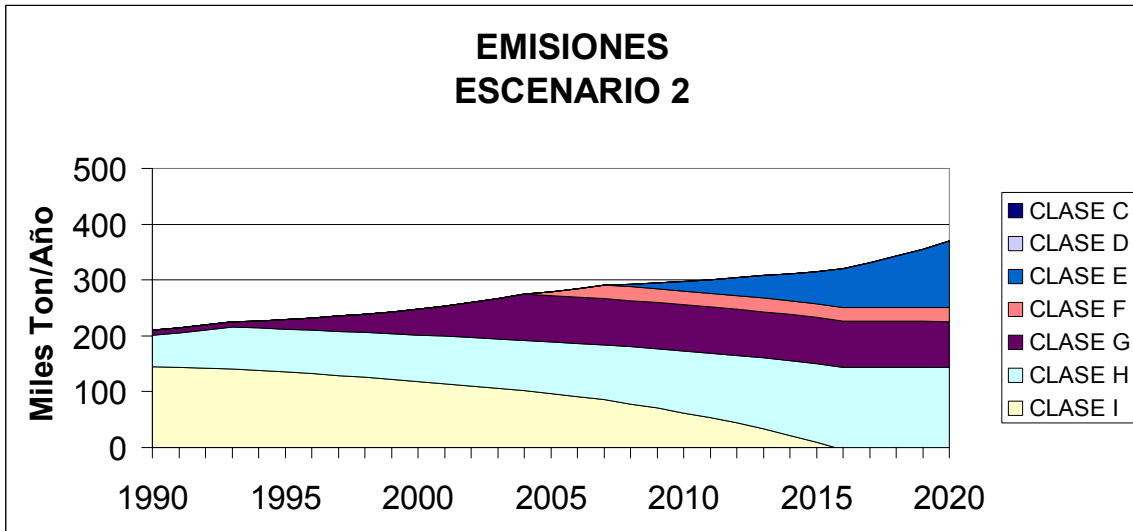


Figura 38. Emisiones por clase de artefacto para el Escenario 2: Washington (Elaboración propia)

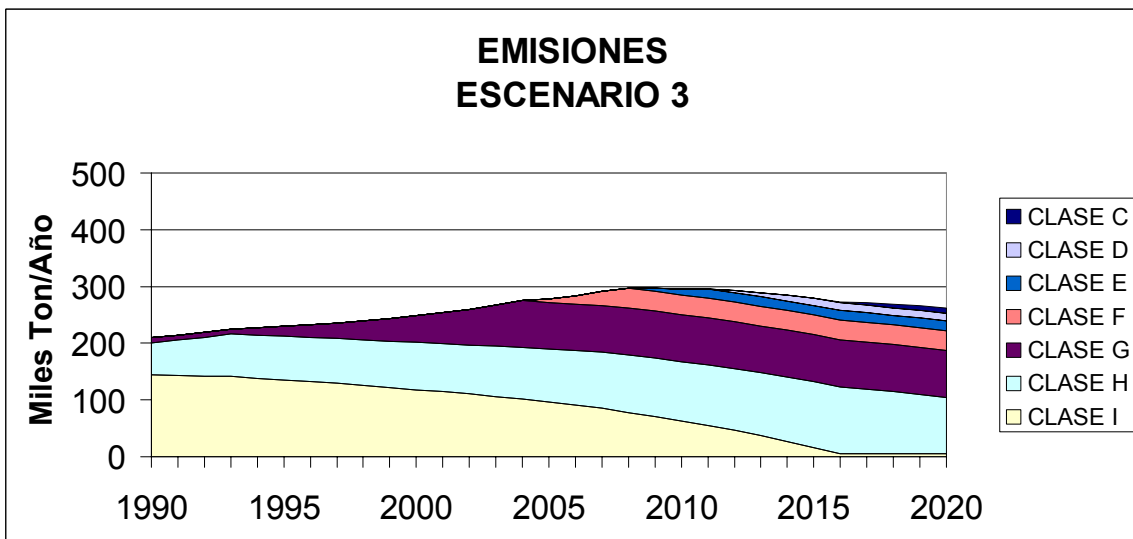


Figura 39. Emisiones por clase de artefacto para el Escenario 3: Gradual (Elaboración propia)

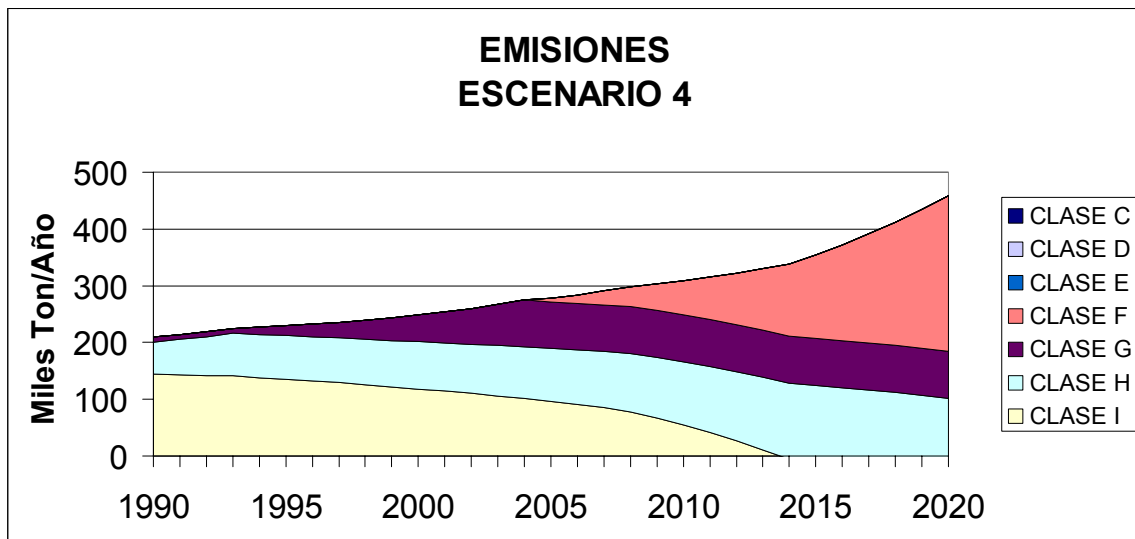


Figura 40. Emisiones por clase de artefacto para el Escenario 4: Retiro acelerado (Elaboración propia)

Se observa que con el anteproyecto de norma (Escenario 1) produce una estabilización de las emisiones, pero al año 2020 estas disminuyen muy lentamente.

Con una norma que reduce a la mitad las emisiones de los artefactos actuales (Escenario 2) no se logra el objetivo y las emisiones continúan ascendiendo.

Con una norma gradual (Escenario 3) se logra una reducción mayor de emisiones y al año 2020 estas presentan una declinación significativa.

Los escenarios con retiro acelerado son más efectivos. Sin embargo, si sólo se aplica un retiro acelerado (Escenario 4) tampoco se detiene el aumento de las emisiones.

8 ESTIMACIÓN DE IMPACTOS ECONÓMICOS PARA EL SECTOR PRIVADO

8.1 Costos y beneficios para los Productores

Los impactos económicos esperados para los proveedores de artefactos a leña son los siguientes:

- aumento de la inversión en desarrollo tecnológico
- aumento del costo de producción de los artefactos
- aumento del costo de certificación de los artefactos
- disminución en el volumen de ventas, en número de artefactos
- mayor competitividad para proveedores con mejores tecnologías
- salida del mercado de proveedores con menor tecnología

Los costos de producción se han estimado, en base a encuestas a los fabricantes, en los siguientes montos:

Tabla 40. Costos de producción estimados según clase de artefacto

CLASE ARTEFACTO	INCREMENTO COSTO	COSTO ESTIMADO
G	0	US\$ 300
F	10%	US\$ 330
E	30%	US\$ 390
D	100%	US\$ 600
C	200%	US\$ 900
Fuente: Elaboración propia		

Se estima que el mayor costo de producción será transferido al consumidor, por lo que el impacto para el productor será sólo el costo de capital de desarrollo de los nuevos modelos.

Una estimación aproximada indica que de cada modelo se venden actualmente un promedio de 5.000 unidades, a lo largo de varios años. Para introducir un nuevo modelo, se requiere inversión al menos en:

- desarrollo del prototipo
- ensayos del prototipo
- certificación del modelo
- inserción en catálogo
- stock inicial

Sin considerar posibles inversiones en maquinaria, es decir, suponiendo que los nuevos modelos pueden fabricarse con la misma infraestructura, se estima en US\$ 100.000 el costo de inversión en los items anteriores. Este monto es muy aproximado, ya que no existe información o es confidencial, y se basa en los siguientes items, estimados como máximos por el consultor:

- construcción de prototipos y pruebas de los mismos: 1200 HH de ingeniería = US\$ 40.000.-
- ensayo y certificación del modelo (incluyendo 33% de rechazo): US\$ 3.000.-
- desarrollo de matricería: US\$ 12.000.-
- diseño de catálogos, promoción, lanzamiento, capacitación: US\$ 15.000.-
- stock inicial 100 artefactos: US\$ 30.000.-

Para mantener los volúmenes de venta actuales y cumplir nuevas exigencias, se requiere lanzar aproximadamente 10 modelos al año, lo que implica una inversión anual de 1 millón de US\$ en desarrollo de modelos, por el conjunto de fabricantes, de los cuales US\$ 300.000 es stock con valor residual significativo.

Este monto representa como máximo el 5% de los costos de producción actuales, cuyo volumen se estima en US\$ 20 millones, considerando que el costo de producción es del orden del 50% del precio de venta a público, con IVA, y que las ventas actuales son aproximadamente US\$ 40 millones.

En la misma medida que los artefactos sean más complejos, se supone que los costos de desarrollo se incrementarán en la misma medida. Por lo tanto, se asume en el análisis que el impacto del desarrollo de nuevos modelos con nuevas tecnologías representa del orden del 5% del valor del producto, por lo que no se estima que constituya una barrera.

Por otra parte, los productores verán un impacto en el volumen de ventas, como resultado de la regulación. Estos impactos se resumen en el cuadro siguiente.

Tabla 41. Proyección de ventas de calefactores bajo los 5 escenarios, en unidades

ESCENARIO	VENTAS EN MILES DE CALEFACTORES							
	2008	CLASE	2009-2011	CLASE	2012-2015	CLASE	2016-2020	CLASE
0	115	F	175	F	256	F	412	F
1	50	D	67	C	97	C	157	C
2	115	E	175	E	256	E	412	E
3	110	F	146	E	214	D	345	C
4	115	F	175	F	256	F	412	F

La información anterior se representa gráficamente en la figura siguiente.

NÚMERO DE ARTEFACTOS VENDIDOS POR ESCENARIO

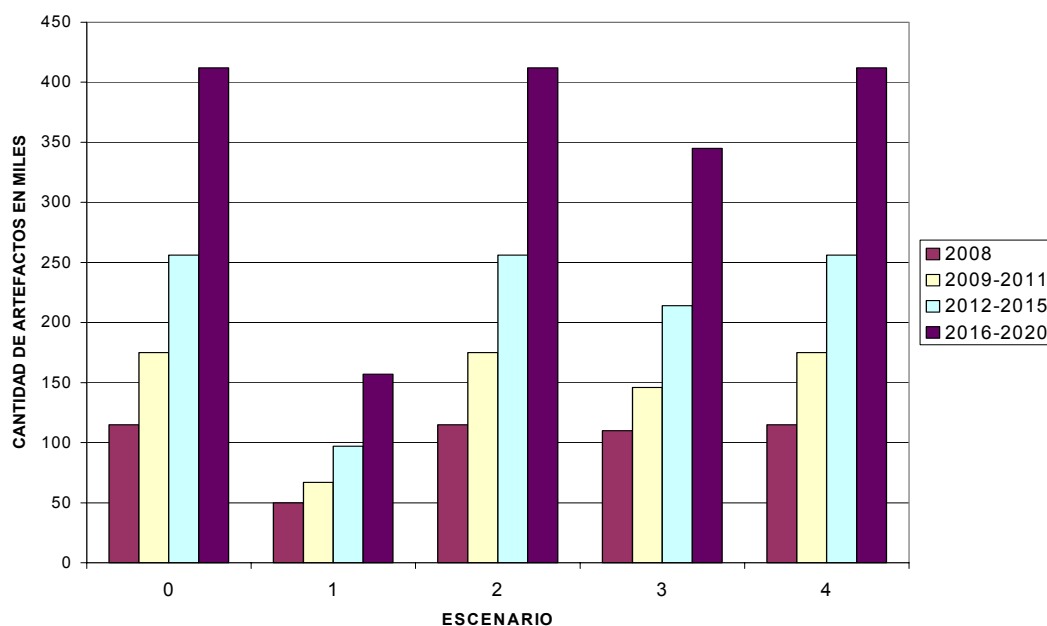


Figura 41. Cantidad de artefactos vendidos para diferentes escenarios modelados

Aplicando los precios para cada tipo de artefacto, se estima que el monto total de ventas anuales evolucionará para cada escenario de acuerdo a la tabla y gráfico siguientes.

Tabla 42. Proyección de ventas de calefactores bajo los 5 escenarios, en US\$

ESCENARIO	VENTAS ANUALES EN MILLONES DE US\$							
	2008	CLASE	2009-2011	CLASE	2012-2015	CLASE	2016-2020	CLASE
0	37,95	F	57,75	F	84,48	F	135,96	F
1	30,00	D	60,30	C	87,30	C	141,30	C
2	44,85	E	68,25	E	99,84	E	160,68	E
3	36,30	F	56,94	E	128,40	D	310,50	C
4	37,95	F	57,75	F	84,48	F	135,96	F

VENTAS ANUALES TOTALES DE ARTEFACTOS POR ESCENARIO

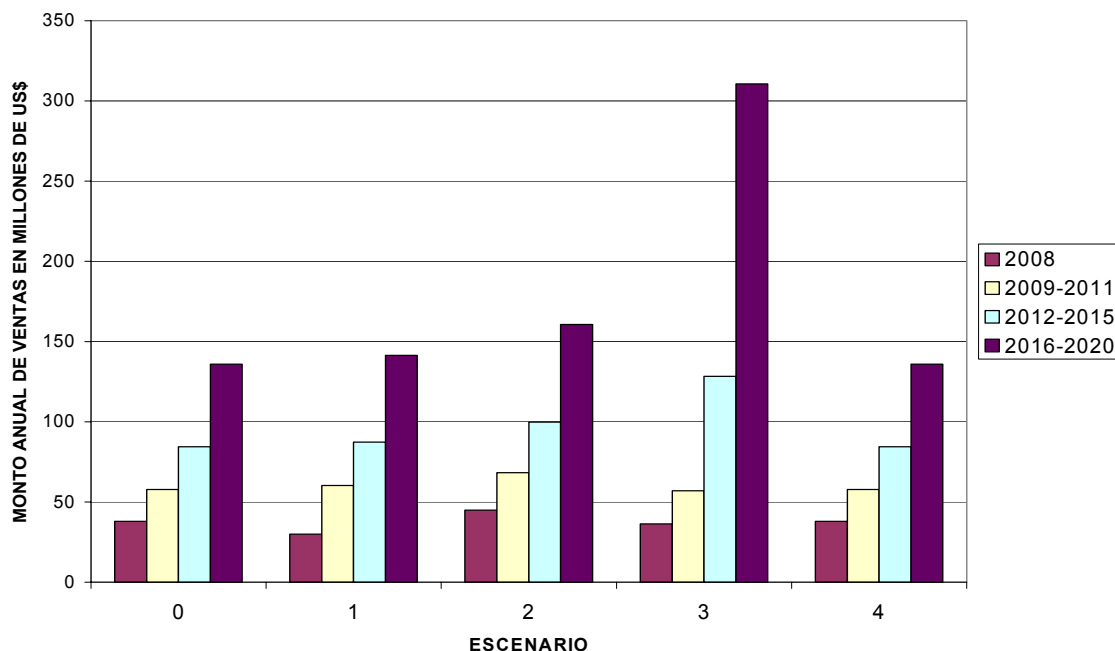


Figura 42. Monto total de ventas anuales para diferentes escenarios modelados.

En general, todos los escenarios prevén un aumento significativo del mercado, incluso con una contracción en el escenario 1, en la que dicha contracción en unidades vendidas se compensa con el mayor valor unitario de los productos.

En el caso del escenario 3, se produce la mayor expansión, dado que prevé un aumento de unidades vendidas y un aumento del valor unitario.

Entre los beneficios no valorados en este análisis se encuentran:

- la mayor transparencia y competitividad derivadas de la mejor información sobre el desempeño de los artefactos, lo que favorece e incentiva la calidad de los mismos
- el mayor conocimiento tecnológico que tendrán los fabricantes y que les permitiría acceder a mercados internacionales en mejores condiciones

8.2 Costos y beneficios para el consumidor

Considerando el hogar medio que consume leña en Chile, su consumo es de 8 m³ al año y el costo del m³ es US\$ 37, se calcula el costo anualizado de calefacción promedio, con una tasa de descuento de 20% (equivalente a la compra a crédito del retail), utilizando los valores sugeridos por los fabricantes para los futuros calefactores.

El consumo de 8 m³ de leña es equivalente a 4.480 kg de masa seca de leña, lo que a su vez equivale a 22.400 kWh = 80,6 GJ. En las condiciones actuales, un artefacto clase G tiene una eficiencia térmica de 60%, por lo que la demanda media de energía por hogar

es 13.440 kWh o 48,4 GJ útiles. En los cálculos se supone que esta cantidad no cambia, independientemente de la eficiencia del artefacto.

Se muestra en la tabla siguiente los resultados en US\$, en que el factor representa la relación con el gasto del artefacto clase G.

Tabla 43. Costo anualizado del uso de 1 artefacto a leña, por clase de calidad

CLASE	ARTEFACTO CAPITAL US\$	ARTEFACTO ANUALIZADO US\$	EFICIENCIA TÉRMICA %	LEÑA ANUAL US\$	ARTEFACTO + LEÑA ANUAL US\$	FACTOR
G	300	60	60	296	356	1,00
F	330	66	65	275	341	0,96
E	390	78	70	257	335	0,94
D	600	121	75	241	362	1,01
C	900	181	80	227	408	1,14

Por lo tanto, el efecto de la norma es un ahorro neto para el usuario hasta la clase D. Para la clase C el costo se incrementa en un 14% con respecto a la clase G (actual).

Estos valores son para un consumo promedio, por lo que la rentabilidad es menor para consumidores de menor volumen y mayores para consumidores de mayor volumen. A modo informativo, el consumo medio varía desde 1 m³ al año en Santiago a 17 m³ al año en Aysén.

A objeto de analizar la eventual migración del consumidor de leña a gas licuado, el combustible de calefacción más usado en el país, se considera una idéntica demanda de energía: 48,4 GJ útiles al año.

El gas licuado normalmente se utiliza en artefactos de llama abierta, denominados catalíticos y radiantes los más frecuentes. La combustión a llama abierta, si bien entrega el 100% del calor generado al ambiente, parte de este calor es calor latente en el vapor de agua, que alcanza un total de 1,6 litros por cada kg de gas quemado. Este calor latente es cedido en el lugar donde se condensa el vapor, por lo que el calor útil es sólo el 86,6%.

Para generar los mismos 48,4 GJ anuales útiles, se requieren 1.114 kg anuales de gas licuado, considerando un poder calorífico de 50,16 MJ por kg de gas licuado.

No se consideran en este análisis las pérdidas térmicas que requiere la ventilación periódica que es necesaria para mantener la calidad del aire en un recinto con calefacción a llama abierta.

El precio del gas licuado que se considera es US\$ 1,5 el kg, es decir US\$ 29,9 por GJ.

Tabla 44. Costo anualizado del uso de 1 artefacto a gas licuado

ARTEFACTO CAPITAL US\$	ARTEFACTO ANUALIZADO US\$	EFICIENCIA TÉRMICA %	GAS ANUAL US\$	ARTEFACTO + GAS ANUAL US\$
100	20	86,6	1.671	1.691

Por lo tanto, es improbable que los consumidores de leña migren hacia el gas licuado. El escenario futuro incluye, además, un escalamiento de precios de los combustibles fósiles con respecto a la leña, por lo que esta brecha aumentará y, muy probablemente, se produzca una migración del gas licuado a la leña.

En todos los caso se supone que el consumidor adquiere el artefacto con una tasa de interés de 20% a un plazo igual a la vida útil del artefacto.

Se concluye que el impacto de la norma para el consumidor, en el Escenario 3, implica un leve ahorro durante algunos años y luego un aumento de 14% en los costos anuales de calefacción, a partir del año 10, como se muestra en el gráfico siguiente, que incluye el pago del calefactor y del combustible.

COSTOS ANUALES PARA EL CONSUMIDOR (ESCENARIO 3)

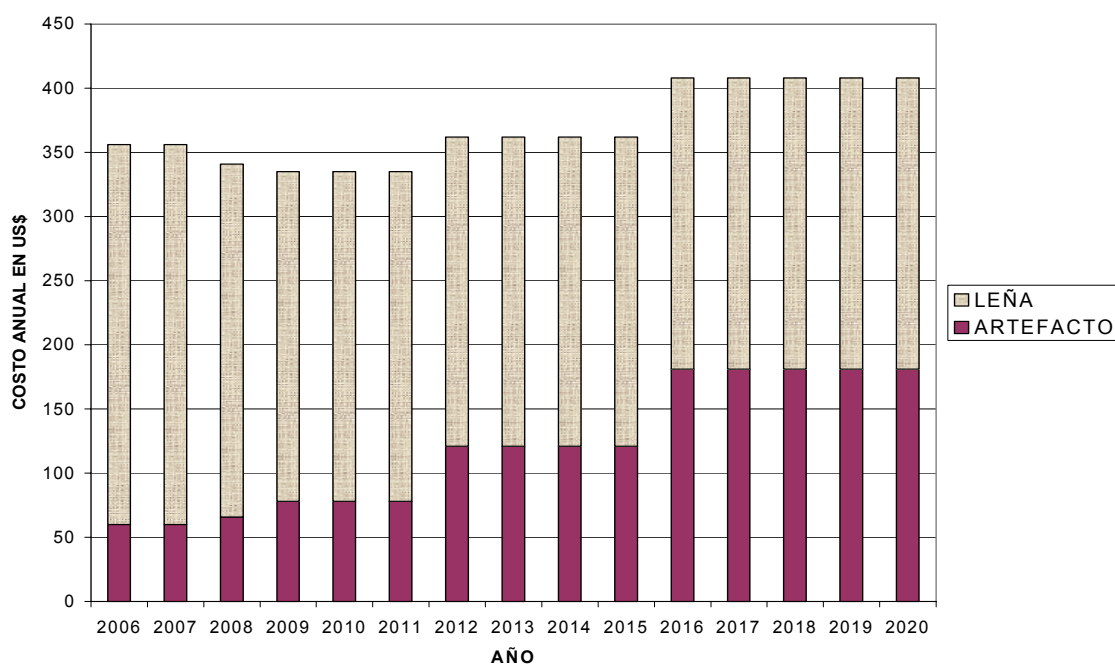


Figura 43. Costos anuales para un usuario bajo condiciones del Escenario 3. (Elaboración propia)

Estos valores calculados anteriormente son para un consumo promedio, por lo que la rentabilidad es menor para consumidores de menor volumen y mayor para consumidores de mayor volumen. A modo informativo, el consumo medio varía desde 1 m3 al año en Santiago hasta 17 m3 al año en Aysén, en relación al promedio país de 8 m3 anuales, por hogar que consume leña, independiente del número de artefactos.

9 ESTIMACIÓN DE COSTOS DE FISCALIZACIÓN

El impacto económico esperado para los fiscalizadores de artefactos a leña se limita a:

- el aumento de la capacidad de registro de antecedentes de los equipos certificados
- el financiamiento de ensayo de verificación aleatorios para control

El número de modelos que ingresa el registro puede estimarse en 20 unidades anuales, lo que es una carga administrativa menor que puede absorberse con la institucionalidad actual.

Si se define un programa de verificación de calidad, este programa requeriría aproximadamente US\$ 2.000 en certificación y aprox. US\$ 1.000 en logística, lo que implica US\$ 3.000 por unidad verificada. La certificación implica ocupar un laboratorio por aproximadamente 1 semana.

La capacidad actual de certificación es limitada, del orden de 30 ensayos anuales, ya que existe un único laboratorio en el país y en verano resulta improbable cumplir las condiciones de ensayo.

10 ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS SOCIALES

10.1 Estimación de beneficios por reducción de emisiones

La reducción de emisiones contaminantes provenientes de la quema de leña origina muchos beneficios, debido a la menor contaminación atmosférica, que se pueden clasificar en:

- Efectos en la salud
- Efectos en vegetación y agricultura
- Daños en materiales
- Daños estéticos (perdida de visibilidad)

De estos efectos, el más importante desde el punto de vista social son los efectos en la salud de la población. Debido a esto, también han sido los más estudiados, tanto en métodos como en levantamiento de información de base.

En este informe se estimaran los beneficios sociales provenientes de la reducción en efectos en la salud de la población expuesta a la contaminación atmosférica producto de la quema de leña. El método usado será el "método de la Función de Daño", en el que se modelan cuantitativamente cada una de las etapas.

Este método ha sido usado en la Región Metropolitana para estimar los beneficios del Plan de Descontaminación. La primera aplicación se realizó en 1997. Posteriormente en 2001 se actualizaron las estimaciones por uno de los integrantes del equipo consultor.

La extensión de aplicación de este método desde la Región Metropolitana a otras ciudades y regiones de Chile plantea una serie de desafíos, debido a la falta de información y de datos. Entre los más importantes se pueden nombrar:

- Para estimar el cambio en concentraciones ambientales se requiere de un inventario de emisiones, y de monitoreo de concentraciones ambientales, no disponible en muchas localidades.
- La fuerte estacionalidad de la quema de leña hace que sea necesario disponer de datos a nivel mensual, aun más escasos que simples totales anuales.
- La mayoría de las funciones concentración-respuesta se han estimado para centros urbanos en que las mayores fuentes son la quema de combustibles fósiles. En el sur de Chile, la mayor fuente de MP corresponde a la quema de leña. Esto puede afectar el impacto en la salud.
- Los patrones de actividad de una urbe mediana o pequeña pueden ser muy distintos a los de una urbe grande, por lo que los patrones de exposición, y por ende los efectos en la salud, también se pueden ver afectados.

Los beneficios por costos evitados en salud se aplicarán sólo a la población urbana, definida por los censos de población, suponiendo que en el contexto rural las emisiones no generan concentraciones que causen daños sobre la salud.

Las estimaciones que se realizan en este trabajo sufren de las limitaciones que resultan de los puntos anteriores, pero en ningún caso subestiman los beneficios.

10.2 Estimación de la relación entre el cambio de emisiones y la calidad ambiental

A falta de mejores modelos, para esta etapa se ha desarrollado un modelo de roll-back simple, en que se asume que el cambio en las concentraciones depende linealmente del cambio en emisiones.

Para estimar este modelo se requiere de dos parámetros: las emisiones y las concentraciones de un cierto contaminante en un periodo de tiempo simultaneo. Esto no esta siempre disponible.

A continuación se muestran los datos disponibles para ciudades de Chile. La siguiente tabla muestra las emisiones de material particulado para diferentes localidades de Chile.

Tabla 45. Emisiones anuales de MP en diversas ciudades que disponen de un inventario de emisiones (ton/año)

Localidad	Año	Tipo de Fuente				Total Emisiones	
		Puntuales	Areales	Móviles en ruta	Polvo Fugitivo	Incluyendo polvo	Sin Polvo fugitivo
Gran Concepcion	2000	12,693	6,779	248	5,660	25,399	19,739
Gran Valparaiso	2000	223	470	178	27,918	28,789	871
Rancagua	1999	35	18	44	4,956	5,054	97
Temuco	2000	223	2,447	71	9,340	12,081	2,741
IX	2000	1,110	6,231		6,477	13,818	7,341
RM	2000	502	1,502	2,054	18,957	23,474	4,517
	2005	552	1,908	1,309	25,976	29,908	3,932

Fuentes:

* Estudio "INVENTARIOS DE EMISIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LAS REGIONES V, VI Y IX DE CHILE". Desarrollado por Cenma para CNE

** Estudio "Modelo de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos para La RM". Desarrollado por DICTUC para CONAMA RM, 2003.

*** Estudio "Actualización del Inventario de Contaminantes Atmosféricos para la RM". Desarrollado por DICTUC para CONAMA RM, 2007.

Tabla 10. Inventario Actualizado al 2000. Gran Concepción.

Los datos de concentraciones de material particulado se encuentran disponibles para unas pocas localidades en Chile, aparte de la RM, donde se ha desarrollado un programa de monitoreo ambiental desde 1989, y se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 46. Promedio Anual de PM₁₀ en diversas ciudades (ug/m³)

Localidad	Contaminante	Año						
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Gran Concepcion	PM10	65.0						
	PM2.5	21.0						
Gran Valparaiso	PM10					33.2	51.4	
Rancagua	PM10					58.1	72.9	
Temuco	PM10					26.5	45.4	
RM	PM10	73.3	69.8	67.6	76.5	68.5	65.8	79.5
	PM2.5	30.8	34.3	33.5	34.4	35.0	34.6	35.6
	Razon PM2.5/PM10	0.42	0.49	0.49	0.45	0.51	0.53	0.45

Usando los datos presentados más arriba, es posible modelar la relación entre las emisiones y las concentraciones suponiendo un modelo de roll-back simple. Este modelo asume una relación lineal entre las emisiones y las concentraciones, y que no existe un nivel background de concentraciones. Aun con todas estas limitaciones, puede entregar información útil para la toma de decisiones.

La siguiente tabla muestra los coeficientes concentración/emisión, es decir, la cantidad de toneladas de emisión requeridas para aumentar la concentración ambiental en 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Como la mayoría del polvo fugitivo aporta solo a la fracción gruesa del material particulado, y las fuentes de combustión a la fracción fina, hemos desarrollado dos factores, uno para la fracción gruesa del material particulado, y otro para la fina. Este último es el que usaremos para el impacto de las emisiones de leña.

Tabla 47. Coeficientes de roll-back simple para diferentes localidades

Localidad	Emisiones			Concentraciones			FCE		
	Año	Total	Sin Polvo Fugitivo	Año	PM10	PM2.5	razon PM2.5/PM10	ton/(ug/m ³)	
					ug/m ³				
Gran Concepcion	2000	25,399	19,739	2,000	65	21	0.32	391	940
				2,005					
Gran Valparaiso	2000	28,789	871	2,004	33.2	15.9	0.48	866	55
				2,005	51.4	24.7			
Rancagua	1999	5,054	97	2,004	58.1	27.9	0.48	87	3
				2,005	72.9	35.0			
Temuco	2000	12,081	2,741	2,004	26.5	12.7	0.48	457	216
				2,005	45.4	21.8			
RM	2000	23,474	4,517	2,000	73.2	30.8	0.42	321	147
	2005	29,908	3,932	2,005	65.8	34.6			

Fuente: elaboracion propia

En la última columna se observa el rango de variación que presentan los diversos estudios, con extremos en Rancagua, que sólo requiere 3 ton de emisiones de PM_{2,5} para generar un aumento de 1 microgramo/m³ en la concentración de MP. En cambio, en

Gran Concepción, se requieren 940 ton de PM_{2,5} para generar dicho aumento de 1 microgramo/m³.

10.3 Beneficios unitarios por reducción en concentraciones

Para obtener el beneficio por reducción de concentraciones, debemos valorar cada uno de los efectos de acuerdo a su valoración social. La valoración social se puede efectuar desde dos enfoques:

- Costo de la enfermedad (COI) : incluye los costos médicos directos y los costos de la productividad perdida
- Costos en bienestar (WTP), representados por la disposición a pagar por evitar la ocurrencia de un efecto, o por la reducción de los riesgos de muerte.

Los beneficios unitarios se han obtenido de un estudio reciente realizado para el BID, en que uno de los consultores ha participado. En este estudio se estimaron los beneficios de manera similar a la usada anteriormente para Santiago de Chile, usando dos escenarios:

- LAC: relaciones concentración-respuesta y valores originales obtenidos de estudios de Latinoamérica (principalmente de Brasil, Chile y México)
- USA: relaciones concentración-respuesta y valores originales obtenidos de estudios de Estados Unidos.

Tabla 48. Beneficios unitarios por persona y ug/m³ de concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5}

		COI	WTP
Contaminante	Escenario	US\$/(ug/m ³ PM _{2.5})/persona	
PM ₁₀	LAC	0.15	1.8
	USA	2.1	28
PM _{2.5}	LAC	0.3	3.8
	USA	4.3	58

Fuente: Cifuentes, L. A., A. Krupnick, et al. (2005). Urban Air Quality And Human Health In Latin America And The Caribbean. Washington, DC., Interamerican Development Bank. Tablas VII-5 y VII-6. Valores para Santiago de Chile. Valores originales para PM₁₀, convertidos a PM₂₅ usando un factor 0.48.

Los valores para el escenario USA son mucho mayores por dos razones:

- incluyen más efectos en la salud, notablemente el efecto de la exposición de largo plazo en mortalidad prematura
- los valores unitarios originales, y el método de transferencia usado resultan en valores unitarios finales mucho mayores que los del escenario LAC.

En conjunto, ambos escenarios definen el posible rango de valores.

10.4 Estimación del beneficio unitario por reducción en emisiones de MP

Para estimar el beneficio por reducción de emisiones, es necesario combinar el beneficio unitario de concentraciones con los factores concentración/emisión, y la población total de cada ciudad. Esto es lo que se muestra en la tabla siguiente, donde se han calculado

estos beneficios usando el FCE de cada ciudad, y el FCE promedio, debido a que este parámetro es el que presenta mayor variabilidad.

Tabla 49. Beneficios unitarios por persona y ug/m3 de concentraciones

Localidad	Poblacion Hab	Beneficios Unitarios por Concentraciones		Beneficios Unitarios por Emisiones			
		COI	WTP	FCE de cada ciudad		FCE promedio	
				COI	WTP	COI	WTP
		US\$/ug/m3 PM2.5)	US\$/ton PM)		US\$/ton PM)		
Gran Concepcion	934,553	292,048	3,562,983	311	3,791	3,191	38,927
Gran Valparaiso	853,350	266,672	3,253,397	7,555	92,176	2,914	35,545
Rancagua	226,446	70,764	863,325	25,403	309,918	773	9,432
Temuco	330,384	103,245	1,259,589	821	10,013	1,128	13,762
RM	6,391,827	1,997,446	24,368,840	17,599	214,705	21,823	266,241
Promedio				10,338	126,121	5,966	72,781
Promedio sin Concepcion ni Rancagua				8,658	105,631	8,622	105,183

Fuente: elaboración propia

La siguiente tabla muestra los valores recomendados para la evaluación de los beneficios de reducción de emisiones de material particulado proveniente de estufas a leña. El valor medio corresponde a un promedio de las estimaciones para las ciudades de Temuco, Valparaíso y la Región Metropolitana de Santiago. Las estimaciones extremas corresponden a Temuco y la RM.

Tabla 50. Resumen de Beneficios Unitarios (US\$/ton MP)

Estimación	US\$/ton PM	Origen
Media	105.183	Promedio de Valparaíso, Temuco, RM
valor bajo	13.762	Temuco, con factores promedio
valor alto	266.241	RM, con factores promedio
Fuente: Elaboración propia		

El rango de variación de las estimaciones es alto (existe un factor de 20 entre el valor inferior y superior), pero esta dentro de lo esperable, considerando la diferente población expuesta y la diferente meteorología. Los valores serían más estables si se considerase la densidad poblacional y la densidad de emisiones para normalizarlos, pero dicha información no está disponible fácilmente.

Por lo tanto, se utilizarán para este análisis un valor alto de US\$ 105.183 y un valor bajo de US\$ 13.762 por cada tonelada de MP emitida a la atmósfera en áreas urbanas.

11 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AGREGADO DE LA NORMA PROPUESTA

11.1 Costos de inversión bajo distintos escenarios

Si se comparan los volúmenes de ventas en calefactores con respecto al escenario 0, se obtiene el cambio en el total de ventas como resultado de cada escenario, en millones de dólares.

Tabla 51. Impacto en el total de ventas anuales, según escenario (Elaboración propia)

ESCENARIO	2008	2009-2011	2012-2015	2016-2020
1 (ANTEPROYECTO)	-7,95	2,55	2,82	5,34
2 (WASHINGTON)	6,9	10,5	15,36	24,72
3 (GRADUAL)	-1,65	-0,81	43,92	174,54

IMPACTO EN LAS VENTAS SEGÚN ESCENARIO

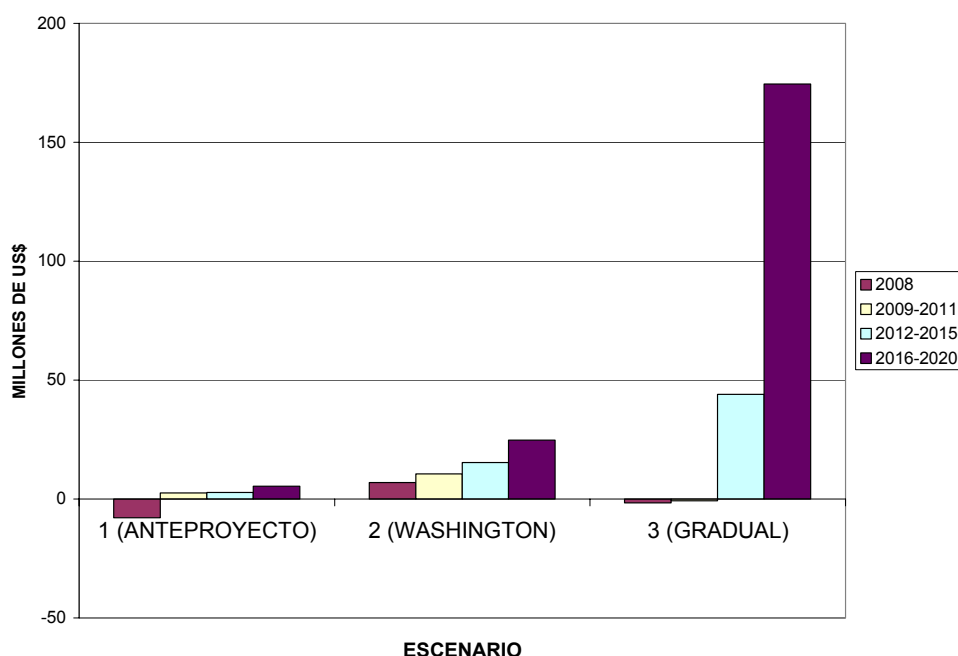


Figura 44. Impacto en el volumen total de ventas según los distintos escenarios

En los Escenarios 1y 5, a pesar del mayor costo de los artefactos, el monto total de ventas de artefactos disminuye por la disminución del número de artefactos vendidos.

Es probable que la demanda insatisfecha de calefactores sea invertida en artefactos de otro combustible.

11.2 Beneficios agregados por costos de salud evitados

Considerando que el 36,6% del consumo de leña es urbano (Tabla 3) se considerará este porcentaje del total de emisiones como las emisiones en áreas urbanas.

Por lo tanto, las emisiones anuales en cada escenario resultan las siguientes, en miles de toneladas de MP, para las regiones IV a XII:

Tabla 52. Emisiones anuales en áreas urbanas, en miles de toneladas

ESCENARIO	2008	2011	2015	2020
0	2,50	2,74	3,18	4,18
1	2,42	2,45	2,42	2,30
2	2,44	2,51	2,63	3,08
3	2,47	2,47	2,34	2,19
4	2,49	2,64	2,96	3,83

Fuente: Elaboración propia

Considerando que el costo anual evitado por cada tonelada de MP no emitida tiene el valor bajo de US\$ 13.762, el costo evitado en áreas urbanas de las regiones IV a XII se muestra en la tabla y gráfico siguientes:

Tabla 53. Costos en salud evitados anuales, en áreas urbanas, en millones de US\$, para el valor bajo de 13.762 US\$/Ton MP

ESCENARIO	2008	2011	2015	2020
1	1,05	4,01	10,41	25,88
2	0,74	3,15	7,45	15,06
3	0,34	3,74	11,54	27,32
4	0,08	1,45	2,99	4,80

Fuente: Elaboración propia

BENEFICIOS ANUALES VALOR BAJO EMISIONES

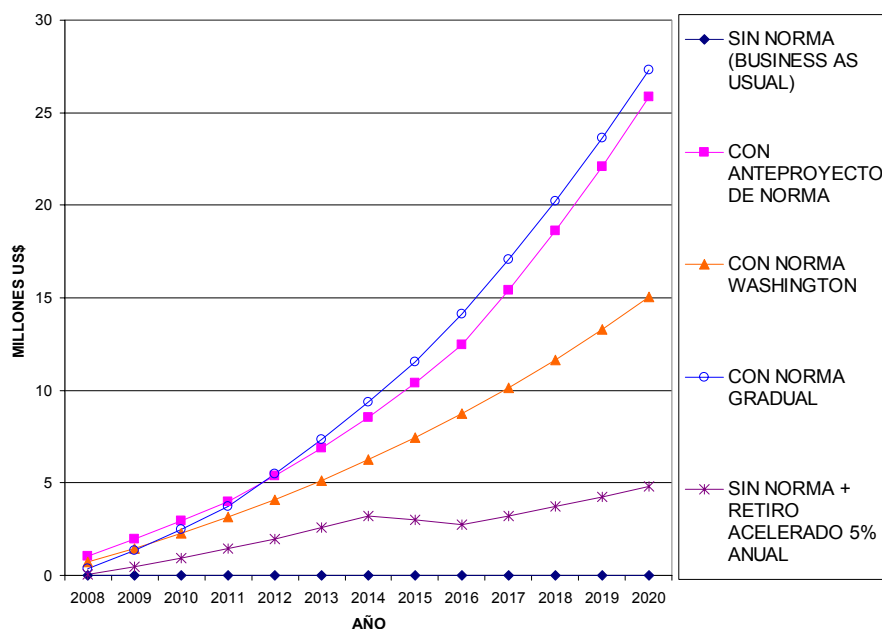


Figura 45. Beneficios por costos evitados en salud en áreas urbanas, para valor bajo

Considerando que el costo anual evitado por cada tonelada de MP no emitida tiene el valor alto de US\$ 105.813, el costo evitado en áreas urbanas de las regiones IV a XII se muestra en la tabla y gráfico siguientes:

Tabla 54. Costos en salud evitados anuales, en áreas urbanas, en millones de US\$, para el valor alto de 105.813 US\$/Ton MP

ESCENARIO	2008	2011	2015	2020
1	8,03	30,61	79,57	197,80
2	5,65	24,10	56,93	115,09
3	2,58	28,61	88,20	208,84
4	0,58	11,07	22,87	36,66

Fuente: Elaboración propia

BENEFICIOS ANUALES VALOR ALTO EMISIONES

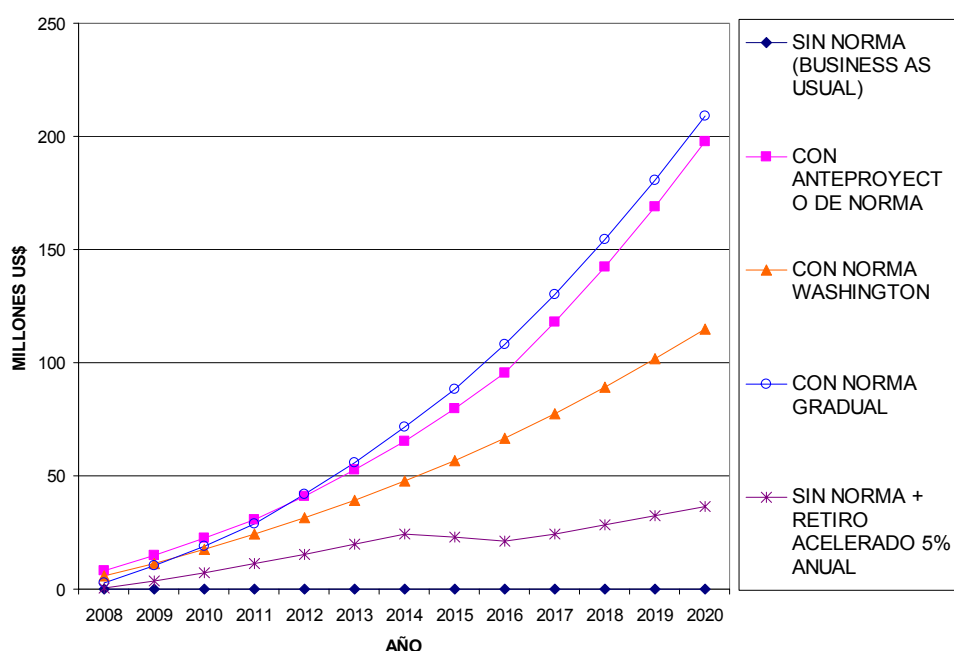


Figura 46. Beneficios por costos evitados en salud en áreas urbanas, para valor alto

Estos beneficios afectan a la población urbana, es decir, al 86% de la población de las regiones IV a XII.

11.3 Beneficios agregados por costos de combustible evitados

El consumo agregado de leña proyectado se detalla en el cuadro siguiente:

Tabla 55. Consumo de leña total país en Ton

AÑO	ESCENARIO				
	0	1	2	3	4
2008	5.797.934	7.420.615	7.755.521	7.736.022	7.800.619
2009	6.366.121	7.704.402	8.388.078	8.271.816	8.437.641
2010	6.991.751	8.017.554	9.084.876	8.832.922	9.139.350
2011	7.680.616	8.363.086	9.852.418	9.420.487	9.912.295
2012	8.424.591	8.679.478	10.681.364	9.990.262	10.747.076
2013	9.228.084	8.990.903	11.576.626	10.586.663	11.648.638
2014	10.095.856	9.296.963	12.543.508	11.210.872	12.622.326
2015	11.033.050	9.597.229	13.587.741	11.864.119	13.694.532
2016	12.045.219	9.905.175	14.715.513	12.499.351	14.852.513
2017	13.138.362	10.225.985	15.949.680	13.177.640	16.103.133
2018	14.318.957	10.560.098	17.282.581	13.887.355	17.453.803
2019	15.593.999	10.907.960	18.722.114	14.629.869	18.912.526
2020	16.971.044	11.270.024	20.276.809	15.406.606	20.487.947

Tabla 56. Energía de calefacción suministrada por leña, total país en GWh/año

AÑO	ESCENARIO				
	0	AÑO	0	AÑO	0
2008	14.643	13.909	14.629	14.507	14.629
2009	16.077	14.582	16.064	15.744	15.992
2010	17.658	15.324	17.644	17.041	17.493
2011	19.397	16.143	19.384	18.401	19.146
2012	21.276	16.946	21.263	19.825	20.930
2013	23.305	17.741	23.292	21.318	22.858
2014	25.497	18.528	25.484	22.882	24.939
2015	27.864	19.306	27.851	24.521	27.188
2016	30.420	20.111	30.407	26.238	29.616
2017	33.181	20.952	33.168	28.037	32.238
2018	36.162	21.830	36.149	29.922	35.070
2019	39.382	22.748	39.369	31.896	38.129
2020	42.860	23.707	42.847	33.964	41.432

Con respecto al escenario 0 existirá un déficit de calefacción no suministrada por la leña en otros escenarios, por lo que se supone una sustitución por gas licuado. Este déficit, considerando la eficiencia térmica de cada tipo de artefacto, se detalla en la tabla siguiente.

Tabla 57. Déficit de energía por menor uso de leña ref. Escenario 0, en GWh/año

AÑO	ESCENARIO			
	1	2	3	4
2008	-734	-13	-136	-13
2009	-1.495	-13	-333	-85
2010	-2.333	-13	-616	-164
2011	-3.255	-13	-996	-252
2012	-4.330	-13	-1.451	-346
2013	-5.564	-13	-1.987	-448
2014	-6.969	-13	-2.614	-557
2015	-8.558	-13	-3.342	-676
2016	-10.309	-13	-4.181	-804
2017	-12.229	-13	-5.143	-943
2018	-14.332	-13	-6.240	-1.092
2019	-16.634	-13	-7.486	-1.254
2020	-19.153	-13	-8.896	-1.428

Considerando un precio fijo para la leña de US\$ 37 la Ton de leña y US\$ 100 el MWh de gas licuado, se ha calculado el gasto adicional a nivel país en combustible por efecto de la norma, lo que se detalla en el cuadro siguiente.

No se ha incluido una tasa de escalamiento por la volatilidad actual de precios. En todos los escenarios se ha considerado una demanda de energía térmica de 11,4 MWh por hogar al año. En cada escenario, la composición del stock de calefactores determina el consumo de leña necesario para satisfacer dicha demanda.

En el caso del gas licuado, se ha considerado un 100% de eficiencia, aún cuando en la realidad existe una pérdida de calor al ser necesario ventilar los recintos donde se utiliza dicho combustible.

Tabla 58. Gasto adicional en combustible en calefacción alternativa, en US\$

AÑO	ESCENARIOS			
	1	2	3	4
2008	133.428	73.741	85.270	75.410
2009	199.057	76.123	103.815	85.165
2010	271.263	78.756	129.726	95.908
2011	350.703	81.667	164.016	107.740
2012	442.437	84.811	203.006	120.519
2013	547.609	88.207	248.984	134.321
2014	667.294	91.874	302.703	149.226
2015	802.654	95.834	364.987	166.087
2016	951.742	100.111	434.945	184.297
2017	1.115.139	105.329	515.768	203.963
2018	1.294.112	110.965	608.046	225.203
2019	1.490.029	117.051	712.944	248.142
2020	1.704.380	123.624	831.735	272.916

12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1 Conclusiones

Línea Base.

La Línea de Base está constituida por más de un millón de artefactos a leña en uso en el país, de los cuales una fracción importante se estima que opera con elevados factores de emisión

El uso de leña para cocinar está disminuyendo y existe escasa información sobre las características de los artefactos para este uso

La leña está aumentando su competitividad frente a otros combustibles, por lo que existe una presión por mayor uso de este recurso y, por ende, mayores emisiones

El mercado de artefactos para calefacción está en una fase de fuerte expansión, superior al 20% anual

Proyección futura.

Se comparan 5 escenarios: 0) la Línea de Base, 1) el Anteproyecto de Norma, 2) emulación de la norma del estado de Washington, 3) escalonamiento gradual y 4) retiro acelerado.

Los escenarios 1 y 3 alcanzan la meta de emisiones unitarias a mediano plazo: 2011 y 2015 respectivamente

Se observa que con el anteproyecto de norma (Escenario 1) se produce una estabilización de las emisiones, pero al año 2020 estas disminuyen muy lentamente.

Se estima que una reducción brusca en los límites permitidos (Escenario 1) produciría una reducción de la demanda de artefactos de menor precio, afectando a los sectores de menores ingresos y aumentando la valoración de artefactos antiguos, lo disminuiría su recambio

Se observa que con una norma equivalente a la del estado de Washington, que reduce a la mitad las emisiones de los artefactos actuales (Escenario 2) no se logra el objetivo y las emisiones continúan ascendiendo.

Se observa que con una norma de escalonamiento gradual (Escenario 3) se logra una reducción mayor de emisiones y al año 2020 estas presentan una declinación significativa.

Se observa que un escenario con retiro acelerado es efectivo independientemente de la norma. Sin embargo, si sólo se aplica un retiro acelerado (Escenario 4) tampoco se detiene el aumento de las emisiones.

El factor de mayor incidencia en las emisiones agregadas es la tasa de salida de artefactos de menor calidad.

Impactos económicos.

Los costos evitados en salud alcanzan US\$ 25,8 millones anuales en 2020 con la aplicación del anteproyecto de norma y hasta US\$ 27,3 millones con el escenario gradual, considerando la proyección más conservadora.

El gasto agregado en combustible leña aumentará de US\$ 215 millones en 2008 a US\$ 628 millones en 2020, bajo los supuestos de un escenario sin norma

Con el anteproyecto de norma, los menores gastos en leña alcanzan a un ahorro de US\$ 210.938. Sin embargo, la demanda insatisfecha de calefacción migraría hacia otros combustibles, revirtiendo este ahorro. Incluyendo los combustibles alternativos, el gasto agregado en calefacción a nivel país aumentaría en US\$ 1.704 millones anuales en 2020, con el anteproyecto de norma.

Con una norma gradual, el gasto agregado en calefacción aumentaría en US\$ 1.459 millones anuales el año 2020, respecto de la línea de base.

El volumen de ventas de artefactos aumentará en 5,3 US\$ millones en 2020 con la aplicación del anteproyecto de norma o aumentará en US\$ 24,7 con una norma similar a Washington, o aumentará US\$ 174,5 con una norma gradual, valores que serán traspasados al consumidor

Se requerirá una inversión anual del orden de US\$ 1 millón del sector productivo para desarrollar los modelos que cumplan la norma

12.2 Recomendaciones

Alcance de la norma.

Se recomienda reconsiderar el rango de potencia de hasta 70 kW, con el objeto de delimitar el alcance con otros artefactos

Métodos de evaluación.

Se recomienda reconsiderar el parámetro indicador de emisiones de MP por uno que considere la eficiencia energética del artefacto. Se propone mg/MJ de energía útil.

Se recomienda que las condiciones de ensayo se orienten a la repetibilidad de los resultados más que a representar las condiciones reales de uso

Se recomienda que el método de medición sea un método probado internacionalmente

Se recomienda que el combustible de prueba sea definido localmente, de acuerdo a parámetros exactamente definidos para evitar dispersión de resultados

Se recomienda incluir una medición de eficiencia térmica en el ensayo. Se sugiere un método indirecto transitoriamente y uno directo para aplicación permanente

Se recomienda que se estudie específicamente los métodos de: 1) medición de emisiones, 2) medición de eficiencia térmica y 3) especificación del combustible estándar

Límites.

Se recomienda definir una escala de emisiones con un rango amplio, de modo que cubra todo tipo de artefactos. Se propone la siguiente:

Tabla 59. Escala de emisiones propuesta

CLASE	EMISIONES MP EN mg/MJ
A	menos de 10
B	10 a 20
C	20 a 40
D	40 a 80
E	80 a 160
F	160 a 320
G	320 a 640
H	640 a 1280
I	más de 1280

Se recomienda que la norma incluya límites escalonados, con plazos de entrada en vigencia mínimos, pero compatibles con la velocidad de desarrollo tecnológico

Se recomienda que no se fije una meta final de límites, sino que la reducción de límites se extienda indefinidamente, sujeto a que exista tecnología adecuada

Se recomienda que la máxima información sea incluida en el etiquetado

Se recomienda la siguiente gradualidad:

- 2007: anuncio de norma para inicio de certificación de artefactos
- 2008: comercialización sólo artefactos certificados, con la mejor tecnología actual
- 2009: comercialización sólo artefactos certificados, con nueva tecnología que reduce al 50% las emisiones con respecto a la mejor actual
- 2011: comercialización sólo artefactos certificados, con nueva tecnología que reduce al 25% las emisiones con respecto a la mejor actual
- 2015: comercialización sólo artefactos certificados, con nueva tecnología que reduce al 12,5% las emisiones con respecto a la mejor actual

Cocinas.

Se recomienda que las cocinas tengan un régimen menos exigente, por ejemplo, límites superiores en 100% al de los calefactores, o un límite plano equivalente a la mejor tecnología actual

En caso de tener las cocinas un régimen especial, debe evitarse que se comercialicen calefactores rotulados como cocinas

Estudios.

Se recomienda que se estudien los posibles métodos, se definan los métodos a aplicar y eventualmente se dicten normas técnica separadas de la norma de emisión, la cual se centre en límites y plazos

Se recomienda que se analice la pertinencia de homologar artefactos ensayados en el extranjero

13 REFERENCIAS

Canadian Standards Association, (varios) "Performance Testing of Solid-Fuel-Burning Heating Appliances CAN/CSA-B415.1", Canadá

Cifuentes, L. A., A. Krupnick, et al., (2005) "Urban Air Quality And Human Health In Latin America And The Caribbean". Washington, DC, Interamerican Development Bank, EE UU

CENMA (2002), "INVENTARIOS DE EMISIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LAS REGIONES V, VI Y IX DE CHILE". Desarrollado por Cenma para CONAMA, Chile

CNE (2001) Análisis de subsidio al gas natural de red en el sector residencial de ciudades con problemas ambientales

CNE (2005), "Comportamiento del Consumidor Residencial y su Disposición a Incorporar Aspectos de Eficiencia Energética en sus Decisiones y Hábitos", Área de Medio Ambiente y Eficiencia Energética, Univ. de Chile, Departamento de Economía, para Comisión Nacional de Energía, Chile

CONAMA (2006), "Antecedentes para formular el anteproyecto Norma de emisión para artefactos de uso residencial que combustionen leña u otros combustibles de biomasa", Departamento Control de la Contaminación, Área Control de la Contaminación Atmosférica

Department of the Environment and Heritage, (2006), "Wood heater Particle Emissions and Operating Efficiency Standards - Cost Benefit Analysis", Australia

DICTUC SA (2003) "Modelo de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos para La RM". "Actualización del Inventario de Contaminantes Atmosféricos para la RM". Desarrollado por DICTUC para CONAMA RM, Chile

DICTUC SA. (2000) "Generación de Instrumentos de Gestión Ambiental para la Actualización del Plan de Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago al Año 2000. Parte I. "Estimación de los Beneficios Sociales de la Reducción de Emisiones y Concentraciones de Contaminantes Atmosféricos en la Región Metropolitana". Santiago, Chile

DICTUC SA (2000). "Generación de Instrumentos de Gestión Ambiental para la Actualización del Plan de Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago al Año 2000." Parte II. "Análisis Económico de Medidas Seleccionadas." Santiago, Chile

Environment Waikato Technical Report, (2006), "Real Life emissions testing of pre 1994 woodburners in New Zealand", Nueva Zelanda

EPA, (1992) New Source Performance Standards, Title 40, Part 60, Sub-part AAA of the Code of Federal Regulations, Environmental Protection Agency, EE UU

EPA (1996), "Emission factors, Chapter 1.10", Environmental Protection Agency, EE UU

Fisher, LH; Houck, JE; Tiegs, PE; McGaughey, J, (2000), "Long-term performance of EPA-certified Phase 2 woodstoves, Klamath Falls and Portland, Oregon: 1998/1999", Preparado para USEPA, EE UU

Gamma Ingenieros SA (2006), "Diseño y evaluación de las nuevas medidas para fuentes fijas contenidas en el PPDA. Línea de Trabajo N° 4: Estudio de mercado de calefactores a leña en la Región Metropolitana", para CONAMA R.M., Chile

Intergovernmental Working Group on Residential Wood Combustion, (2002), "Options to Reduce Emissions from Residential Wood Burning Appliances", Canada

Klippel, N, Nussbaumer, T y Hess, A, (2006), "Particle emissions from residential wood combustion – Design and operation conditions determine health impacts", 10th ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles, Zurich, Suiza

MIDEPLAN, (2005), "Precios sociales para la evaluación social de proyectos", Ministerio de Planificación y Cooperación, Chile

Nussbaumer, T., (2006) "Results from tests on Wood Stoves and revised recommendations for emissions limit values for Chile", elaborado para CONAMA y COSUDE, Chile

PROTERM, (2005), "Medición Experimental de Calefactores de Combustión a Leña", para CONAMA, Chile

SERPRAM, (2006), "Medición de artefactos de uso residencial que operan con biomasa para apoyar procesos regulatorios ambientales", para CONAMA, Chile

SINIA (2004), "Inventario Nacional de Fuentes de Dioxinas y Furanos", Anexo B

Sánchez, J. M. and S. Valdes, (1997), "Estimación de los beneficios en salud del Plan de Descontaminación de la Región Metropolitana", Santiago, Comisión Nacional del Medio Ambiente, Chile

Scott, A J (2005), "Real-life emissions from residential wood burning appliances in New Zealand Interim report III: Emissions from 1.5 g/kg appliances", Environment Canterbury, Nelson City Council and the Ministry for the Environment, Nueva Zelanda

Troncoso, (2005), "Energía y Medio Ambiente", Presentación al Seminario-Foro sobre Bio-Energía, Chile-Suecia", Chile

Todd, (2003), "Research relating to regulations measures for improving of solid fuel heaters", Eco-Energy Options, para Department of Environment and Conservation, New South Wales, Australia

Univ. de Chile, (2005), "Diagnóstico del Mercado de la Leña en Chile", preparado para la Comisión Nacional de Energía por el Departamento de Economía de la Universidad de Chile.

Univ. de Chile, Departamento de Economía (2006), "Base de datos unificada de las encuestas de consumo de leña residencial urbana para las comunas de Rancagua, Chillán, Gran Concepción, Temuco, Valdivia, Osorno, Río Negro, La Unión, Puerto Aysén y Coihayque."

UDEDEC (2002), "Priorización de medidas de reducción de emisiones por uso residencial de leña para la gestión de la calidad del aire en Temuco y Padre Las Casas", Universidad de Concepción para CONAMA.

Expediente Público de la Norma (2005-2006-2007).

