

INFORME FINAL

**PROYECTO : ELABORACIÓN DE EVALUACIÓN EX -
POST DE PLAN DE DESCONTAMINACIÓN
ATMOSFÉRICO - PDA TEMUCO
(LICITACIÓN 608897-151-LE16)**

PARA : SUBSECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE

OT : OT. 2016-289-11

**Dr. Cristian Mardones Poblete
Jefe de Proyecto
Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad de Concepción**

13 DE NOVIEMBRE DE 2017

ÍNDICE

ÍNDICE	2
RESUMEN EJECUTIVO	6
1 INTRODUCCIÓN.....	13
2 OBJETIVOS.....	17
3 ACTIVIDADES A REPORTAR EN EL INFORME FINAL.....	18
4 DESARROLLO DE ACTIVIDADES DEL COMPONENTE N° 1	20
4.1 DESCRIPCION DE LAS MEDIDAS DEL PDA EVALUADAS EX – ANTE.....	20
4.2 CAPACIDADES INSTALADAS Y RECURSOS REQUERIDOS POR EL PDA ...	22
4.2.1 AISLACIÓN TÉRMICA DE VIVIENDAS NUEVAS Y EXISTENTES.....	22
4.2.2 RECAMBIO DE CALEFACTORES.....	24
4.2.3 COMERCIALIZACION Y USO DE LEÑA SECA.....	28
4.3 ANÁLISIS DE LA VALIDEZ DE LOS SUPUESTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEDIDAS DEL PDA ENFOCADAS AL SECTOR RESIDENCIAL	31
4.3.1 NORMA DE EMISION DE CALEFACTORES A LEÑA (LÍNEA BASE).....	31
4.3.2 COMERCIALIZACIÓN Y USO DE LEÑA SECA (LÍNEA BASE)	32
4.3.3 PROHIBICIÓN GRADUAL DE CALEFACTORES.....	33
4.3.4 RECAMBIO DE CALEFACTORES.....	34
4.3.5 SUBSIDIO DE AISLACIÓN TÉRMICA DE VIVIENDAS EXISTENTES	36
4.3.6 AISLACIÓN TÉRMICA DE VIVIENDAS NUEVAS	39
4.3.7 MEDIDAS PARA EL SECTOR RESIDENCIAL EN GESTIÓN DE EPISODIOS CRÍTICOS.....	39
4.3.8 SÍNTESIS Y ANÁLISIS DE LA VALIDEZ DE SUPUESTOS DE LA EVALUACIÓN EX - ANTE.....	40
4.4 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE IMPLEMENTACIÓN Y CUMPLIMIENTO DE LAS MEDIDAS ASOCIADAS A REDUCIR EMISIONES DEL SECTOR RESIDENCIAL	40
4.5 PROPONER INDICADORES DE SEGUIMIENTO PARA EVALUAR EL GRADO DE IMPLEMENTACIÓN DEL PDA	58
5 DESARROLLO DE ACTIVIDADES DEL COMPONENTE N° 2	71
5.1 BASES DE DATOS DE POSTULACIÓN A LOS PROGRAMAS DE AISLAMIENTO TÉRMICO Y RECAMBIO DE CALEFACTORES.....	71
5.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE RECAMBIO DE CALEFACTORES	71
5.1.2 ANÁLISIS DE LAS BASES DE DATOS EXISTENTES PARA EL PROGRAMA DE RECAMBIO DE CALEFACTORES.....	72
5.1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO	78
5.1.4 ANÁLISIS DE LAS BASES DE DATOS EXISTENTES DEL PROGRAMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO.....	78
5.1.5 ANÁLISIS DE LA UTILIDAD DE LAS BASES DE DATOS EXISTENTES PARA REALIZAR UNA EVALUACIÓN EX - POST.....	83

5.2	VARIABLES QUE DETERMINAN LA PROBABILIDAD DE SER BENEFICIARIO	84
5.3	RECOPIACIÓN Y UNIFICACIÓN DE BASES DE DATOS CON POSTULANTES, PRESELECCIONADOS Y SELECCIONADOS	91
5.4	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDIOS SOBRE USO DE LEÑA Y OTROS ENERGÉTICOS	92
5.5	RECOPIACIÓN DE VARIABLES METEOROLÓGICAS Y OTRAS VARIABLES RELEVANTES.....	102
5.5.1	VARIABLES METEOROLÓGICAS.....	102
5.5.2	VARIABLES DE CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES.....	107
5.5.3	VARIABLES DE TRATAMIENTO PARA EVALUAR EL PDA.....	110
5.5.4	VARIABLES DE TRATAMIENTO PARA EVALUAR LA GESTIÓN DE EPISODIOS CRÍTICOS	112
5.6	DEFINIR LA INFORMACIÓN NECESARIA FALTANTE.....	113
6	DESARROLLO DE ACTIVIDADES DEL COMPONENTE N° 3	118
6.1	PREGUNTAS DE EVALUACIÓN, TEORÍA DEL CAMBIO, CADENA DE RESULTADOS, HIPÓTESIS E INDICADORES DE DESEMPEÑO	118
6.1.1	PREGUNTAS DE EVALUACIÓN.....	118
6.1.2	TEORÍA DEL CAMBIO	119
6.1.3	CADENA DE RESULTADOS PARA EL PROGRAMA DE RECAMBIO DE CALEFACTORES	119
6.1.4	CADENA DE RESULTADOS PARA EL PROGRAMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO.....	121
6.1.5	CADENA DE RESULTADOS PARA EL PDA DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS	123
6.1.6	CADENA DE RESULTADOS PARA EL PROGRAMA DE GESTIÓN DE EPISODIOS CRÍTICOS	125
6.1.7	HIPÓTESIS.....	127
6.1.8	INDICADORES DE DESEMPEÑO.....	129
6.2	ESTRATEGIA DE IDENTIFICACIÓN, GRUPOS DE CONTROL Y SUPUESTOS ASOCIADOS.....	130
6.3	METODOLOGÍAS PROPUESTAS PARA LA EVALUACIÓN EX - POST.....	134
6.3.1	TÉCNICA DE DIFERENCIAS EN DIFERENCIAS	134
6.3.2	TÉCNICA DE <i>MATCHING</i>	135
6.3.3	TÉCNICA DE <i>MATCHING</i> CON DIFERENCIAS EN DIFERENCIAS	137
7	DESARROLLO DE ACTIVIDADES DEL COMPONENTE N° 4	139
7.1	DEFINIR LAS UNIDADES DE ANÁLISIS, EL TRATAMIENTO, EL CONTEXTO DE EVALUACIÓN, ENTRE OTROS.	139
7.1.1	DESCRIPCIÓN DE LA EVALUACIÓN EX – POST DEL PDA DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS COMO PROGRAMA CONSOLIDADO	139
7.1.2	DESCRIPCIÓN DE LA EVALUACIÓN EX – POST DEL PROGRAMA DE GESTIÓN DE EPISODIOS CRÍTICOS	140

7.1.3	DESCRIPCIÓN DE LA EVALUACIÓN EX – POST DEL PROGRAMA DE RECAMBIO DE CALEFACTORES	142
7.1.4	DESCRIPCIÓN DE LA EVALUACIÓN EX – POST DEL PROGRAMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO.....	143
7.2	LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN FALTANTE NECESARIA PARA LA EVALUACIÓN EX - POST	145
7.2.1	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PARA LA EVALUACIÓN EX – POST DEL PDA DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS COMO PROGRAMA CONSOLIDADO	145
7.2.2	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PARA LA EVALUACIÓN EX – POST DEL PROGRAMA DE GESTIÓN DE EPISODIOS CRÍTICOS EN TEMUCO Y PADRE LAS CASAS.....	146
7.2.3	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PARA LA EVALUACIÓN EX – POST DEL PROGRAMA DE RECAMBIO DE CALEFACTORES EN TEMUCO Y PADRE LAS CASAS	148
7.2.4	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PARA LA EVALUACIÓN EX – POST DEL PROGRAMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO EN TEMUCO Y PADRE LAS CASAS	149
7.3	POBLACIÓN OBJETIVO Y TAMAÑO MUESTRAL	151
7.4	VALIDEZ INTERNA Y EXTERNA.....	153
7.4.1	VALIDEZ INTERNA	153
7.4.2	VALIDEZ EXTERNA.....	155
7.5	DESARROLLO DE CUESTIONARIOS Y PROTOCOLOS ASOCIADOS A LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	156
7.5.1	DESARROLLO DE CUESTIONARIO.....	156
7.5.2	PROTOCOLO DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	160
7.6	APLICACIÓN DEL CUESTIONARIO DE ACUERDO A LOS PROCEDIMIENTOS Y REQUERIMIENTOS PREVIAMENTE DEFINIDOS.....	160
7.6.1	RECLUTAMIENTO Y SELECCIÓN DE ENCUESTADORES	160
7.6.2	CAPACITACIÓN DE LOS ENCUESTADORES	161
7.6.3	PRUEBA PILOTO DEL CUESTIONARIO.....	161
7.6.4	CRONOGRAMA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	162
7.6.5	PROBLEMAS ASOCIADOS AL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN ...	162
7.6.6	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN REQUERIDA	163
7.7	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN EX - POST.....	164
7.7.1	EVALUACIÓN EX - POST DE PDA COMO PROGRAMA CONSOLIDADO.	164
7.7.2	EVALUACIÓN EX - POST DEL PROGRAMA DE GESTIÓN DE EPISODIOS CRÍTICOS.....	171
7.7.3	EVALUACIÓN EX - POST DEL PROGRAMA DE RECAMBIO DE CALEFACTORES	183
7.7.4	EVALUACIÓN EX - POST DEL PROGRAMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO	196
7.7.5	EVALUACIÓN EX - POST CONJUNTA DEL PROGRAMA DE RECAMBIO DE CALEFACTORES Y PROGRAMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO	209

8	CONCLUSIONES.....	215
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	221
	ANEXO A: REPORTES DE EVALUACIONES EX – POST PARA GUÍA METODOLÓGICA	225
	ANEXO A.I: EVALUACIÓN EX – POST DEL PDA COMO PROGRAMA CONSOLIDADO	226
	ANEXO A.II: EVALUACIÓN EX – POST DEL PROGRAMA DE GESTIÓN DE EPISODIOS CRÍTICOS.....	237
	ANEXO A.III: EVALUACIÓN EX – POST DEL PROGRAMA DE RECAMBIO DE CALEFACTORES	255
	ANEXO A.IV: EVALUACIÓN EX – POST DEL PROGRAMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO	272
	ANEXO B: PROPUESTA DE CAPACITACIÓN	287

RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe aborda la evaluación ex - post del Plan de Descontaminación Ambiental (PDA) de Temuco y Padre Las Casas, cuyo objetivo final es estimar el efecto causal de una o más de las principales medidas implementadas en el sector residencial, para determinar si la meta de reducción de contaminación se alcanza debido, exclusivamente, a las medidas del PDA o debido a factores externos.

Para contextualizar el aporte de las principales medidas enfocadas en el sector residencial, se puede mencionar que la evaluación ex – ante del PDA (MMA, 2014) concluye que las emisiones del sector residencial se reducirían principalmente al año final de evaluación por el recambio de 27 mil calefactores (45%), reacondicionamiento térmico de 40 mil viviendas existentes (29%) y la prohibición gradual de calefactores que no cumplen la norma (9%).

La validación de los supuestos utilizados en la evaluación ex – ante de las medidas incorporadas en el PDA es muy importante ya que permite proyectar escenarios certeros y facilita la priorización de medidas para la reducción de emisiones. Por ello, en este informe se realiza esta validación a través de un análisis crítico basado en estudios técnicos y literatura científica. Posteriormente, se validan estos supuestos a través de una evaluación ex – post, la cual evita el problema de atribuir la reducción en las concentraciones (o emisiones) de contaminantes solamente a la implementación de las medidas, ya que existen muchos otros factores no relacionados al PDA que podrían haber afectado el nivel de concentraciones, como por ejemplo cambios de temperaturas, mejores condiciones meteorológicas de ventilación, cambio en el ingreso de los hogares y su consumo de combustibles, entre otros.

Para realizar la evaluación ex – post de medidas asociadas al sector residencial, el MMA proporcionó una base de datos con los postulantes y beneficiarios del programa de recambio de calefactores y otra base de datos del programa de aislamiento térmico de viviendas, ambas con registros para las comunas de Temuco y Padre Las Casas. Solamente la primera base de datos permite caracterizar una línea base para los postulantes del programa. Sin embargo, al empalmar los RUT de los postulantes de ambos programas, se obtiene una línea base con las características de los hogares para un subgrupo de postulantes del programa de aislamiento térmico. A partir de estas bases de datos procesadas y filtradas se caracteriza a los postulantes, y también, se calcula la probabilidad de ser beneficiario de alguno de estos programas a través de un modelo *probit* que relaciona una variable binaria que indica el estado del postulante (beneficiado o no beneficiado) con un vector de variables explicativas que componen las características del hogar. Los resultados muestran que el tamaño del grupo familiar, el tipo de calefactor escogido, así como también, el estado y tipo del calefactor antiguo son variables relevantes para explicar la probabilidad de ser beneficiario en el programa de recambio de calefactores. Mientras que la única variable relevante para explicar la probabilidad de ser beneficiario en el programa de aislamiento térmico entre los años 2015 y 2016 es que la

vivienda del postulante haya obtenido un subsidio de aislación SERVIU entre los años 2008-2015.

Para realizar una adecuada evaluación ex – post de los programas de recambio de calefactores y mejoramiento térmico de viviendas se requiere conocer el consumo de leña que posee el hogar del postulante y las características de aislación de la vivienda antes del programa. Sin embargo, las bases de datos proporcionadas por el MMA no contienen esta información de forma precisa, ya que solo se consulta por rangos de consumo de leña, y además, algunos registros de los postulantes no poseen estos datos. En consecuencia, se requiere levantar información en terreno tanto para el consumo actual como para la línea base, lo cual se realiza de forma retrospectiva. Por lo anterior, se diseña un cuestionario para el levantamiento de la información que incluye las variables que de acuerdo a análisis estadísticos son características relevantes para determinar la obtención de alguno de estos programas de subsidio, y también, determinantes del consumo de leña. Para la evaluación ex – post del PDA como un programa consolidado y el programa de gestión de episodios críticos se recopila información de las concentraciones de MP_{10} , concentraciones de $MP_{2,5}$ y datos meteorológicos desde las estaciones de monitoreo, y además, se obtienen los datos para definir las variables de tratamiento.

En resumen, este informe realiza cuatro evaluaciones ex - post de políticas o programas enmarcados en el contexto del PDA de Temuco y Padre Las Casas, las cuales buscan determinar el efecto causal de cada programa sobre el objetivo de mejorar la calidad del aire controlando por otros factores exógenos, utilizando metodologías cuasi – experimentales y/o no experimentales. Específicamente, de acuerdo a los datos disponibles, hipótesis planteadas, teoría del cambio, variables de resultado y estrategia de identificación se concluye que el programa de recambio de calefactores, el programa de aislamiento térmico de viviendas, la implementación del PDA y el programa de gestión de episodios críticos pueden ser estimados a través del método de diferencias en diferencias. Además, por la naturaleza de los datos a nivel de hogares en el caso de los programas de recambio de calefactores y el programa de aislamiento térmico de viviendas, también se utiliza el método de *matching* con diferencias en diferencias para estimar el impacto de estos programas. A continuación se presenta el contexto de cada evaluación.

En la zona de Temuco y Padre Las Casas se aplicó en junio de 2010 un PDA para reducir las concentraciones de MP_{10} , el cual fue posteriormente reemplazado en noviembre de 2015 por un PDA que se enfocó en la reducción del $MP_{2,5}$. Así, la evaluación ex - post del PDA como un programa consolidado requiere disponer de datos en estaciones de monitoreo instaladas en zonas saturadas con características similares a Temuco para conseguir el nivel de contaminación ambiental antes y después de su implementación, mientras que el grupo de control se obtiene a partir de los niveles de contaminación en otras zonas que cuentan con estaciones de monitoreo para el mismo periodo pero que aún no han implementado un PDA o que lo han implementado en una fecha diferente. En consecuencia, la evaluación ex - post del PDA como un programa consolidado se basa en determinar si al condicionar por factores meteorológicos el valor promedio de las

concentraciones mensuales de material particulado respirable (MP₁₀) no es diferente luego de la aplicación del PDA.

El programa de gestión de episodios críticos implementa restricciones horarias al uso de equipos de calefacción a leña en ciertas zonas geográficas de Temuco y Padre Las Casas con el objetivo de enfrentar episodios de alta contaminación del aire, durante el periodo comprendido entre el 1° de abril y 30 de septiembre de cada año. A partir de los datos de las estaciones de monitoreo instaladas en el polígono con prohibición en ambas comunas es posible obtener el nivel de contaminación ambiental antes y después de la implementación de un episodio crítico, mientras que el escenario contrafactual puede obtenerse a partir de los niveles de contaminación en la única estación de monitoreo instalada fuera del polígono de prohibición para ambos periodos de tiempo. En consecuencia, la evaluación ex - post del programa busca determinar si al condicionar por factores meteorológicos el valor promedio de las concentraciones horarias de material particulado no es diferente luego de la aplicación de la prohibición.

El programa de recambio de calefactores abre postulaciones cada año para quienes requieran cambiar sus calefactores a leña antiguos, así los hogares beneficiados pueden instalar un sistema de calefacción más limpio y eficiente (kerosene, pellet, gas licuado y calefactor a leña certificado). Para desarrollar la evaluación ex - post se requiere conocer el consumo de leña y otros energéticos para calefacción que posee el postulante antes y después de la instalación del nuevo calefactor para estimar sus emisiones de MP_{2,5}, y también, otras características socioeconómicas del hogar y características de la vivienda que permitan ser utilizadas como variables de control en ambos periodos. Como las unidades de análisis son los hogares beneficiados entre los años 2015 y 2016, pero la fecha efectiva del recambio ocurrió a fines del año 2015. Se decide definir el periodo de 2015 y 2017 como aquellos que permiten caracterizar de mejor forma la situación base y la situación posterior a la aplicación del tratamiento.

El programa de aislamiento térmico es un subsidio que tiene por objetivo realizar una remodelación de la vivienda para acondicionarla térmicamente. Al igual que el programa de recambio de calefactores en esta evaluación ex - post se requiere conocer el consumo de leña y otros energéticos para calefacción que posee el postulante antes y después de la mejora en la aislación para estimar sus emisiones de MP_{2,5}, y también, disponer de variables de control en ambos periodos.

Por lo anterior, se elabora un cuestionario que incluye información de línea base (definida para el año 2015) y la ronda de seguimiento (año 2017), conteniendo módulos referentes a: 1) Dirección; 2) Identificación de encuestado; 3) Identificación del encuestador; 4) Datos de calefacción del año 2017; 5) Datos de calefacción del año 2015; 6) Beneficios de programas gubernamentales; 7) Nivel de conocimiento de la problemática ambiental en la zona; 8) Características del uso de leña para calefacción; 9) Características de la vivienda; y 10) Características socioeconómicas.

Los hogares encuestados que son beneficiados por cada programa se seleccionan de forma aleatoria a partir de los listados oficiales proporcionados por el MMA y MINVU (utilizando reemplazo si los hogares no quieren acceder a contestar la encuesta). Por otra parte, los hogares utilizados como controles son escogidos con un algoritmo aleatorio sistemático (se entrevista a un hogar vecino que esté localizado a 1, 3, 5 ó etc. casas adyacentes a un hogar beneficiado que hubiese contestado la encuesta), esto con el fin de asegurar que los hogares y materialidad de las viviendas tuviesen características similares al hogar beneficiado.

Para abordar el trabajo de campo se realiza una planificación inicial de levantamiento de información los fines de semana durante un periodo aproximado de dos a tres meses, también se definen estrategias para contratar, capacitar y controlar a los encuestadores. Además, para asegurar y estandarizar la calidad de la información levantada se genera un manual del encuestador que detalla y explica cada una de las secciones de la encuesta, este manual es entregado a cada encuestador para que lo estudien de forma previa a la capacitación. A partir de las diferentes campañas realizadas durante los meses de mayo, junio y julio se pudo cumplir con la meta comprometida de obtener información de al menos 130 encuestas con beneficiarios de aislación (se consiguieron 131 encuestas efectivamente), 130 encuestas con beneficiarios de calefactores y 130 encuestas con controles.

Los resultados obtenidos en el presente informe permiten concluir lo siguiente (ver resumen de los impactos en Tabla I). En la primera evaluación ex – post la implementación de un PDA tiene un efecto estadísticamente significativo que reduce en $2,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ las concentraciones mensuales de MP_{10} en el modelo con más variables de control, valor que es menos de un tercio del impacto estimado en la evaluación ex – ante del Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) que proyecta una reducción de $8,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cabe señalar que el impacto estimado corresponde a los primeros años de implementación del PDA, ya que los planes fueron oficializados a partir del año 2013 y 2015 mientras que los datos utilizados solo abarcaron hasta el año 2017.

En la segunda evaluación ex - post se determina que la prohibición durante un episodio crítico (independiente del tipo de episodio) es estadísticamente significativa en todas las especificaciones para reducir las concentraciones de MP_{10} y $\text{MP}_{2,5}$. Al desagregar por tipo de episodio, se observa que la prohibición durante un episodio de emergencia permite reducir las concentraciones en una magnitud mayor que durante un episodio de pre-emergencia. El efecto negativo de ambas medidas es estadísticamente significativo en todas las especificaciones, generando aproximadamente una reducción entre 40 y $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} durante una emergencia y una reducción entre 10 y $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} durante una pre-emergencia. Para el contaminante $\text{MP}_{2,5}$ la variable asociada a la prohibición durante un episodio de emergencia permite reducir las concentraciones entre 30 y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$, mientras que la variable asociada a la prohibición durante un episodio de pre-emergencia permite reducir las concentraciones aproximadamente entre 7 y $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$.

Respecto a los resultados del programa de recambio de calefactores estimados con el método de diferencias en diferencias se concluye que si se escoge un nuevo calefactor a leña certificado no se observa un efecto negativo y estadísticamente significativo sobre el consumo de leña, pero que el consumo de leña se reduce de forma estadísticamente significativa si el nuevo equipo escogido utiliza kerosene (3205 kg en el modelo con más variables de control) o pellet (2071 kg en el modelo con más variables de control)¹. También, se encuentra un efecto significativo y negativo del programa sobre las emisiones de MP_{2,5} en todas las especificaciones. Sin embargo, resulta extraño que la tipología de equipo escogido para el recambio no tenga un impacto diferenciado y estadísticamente significativo sobre las emisiones de MP_{2,5}, lo cual se puede atribuir a que el factor emisión y eficiencia utilizado para los nuevos calefactores a leña certificados son menores a aquellos utilizados para los calefactores a leña antiguos, por lo cual a los hogares que escogieron este tipo de calefactor se les calcula una emisión menor. Así, la reducción de las emisiones independientemente del tipo de calefactor solo se explica porque se asume un factor de emisión bajo para los calefactores de leña certificados que no se valida empíricamente en este estudio (basado en encuestas sobre consumo de leña sin mediciones de emisiones en cada hogar) y no por una reducción significativa en el consumo de leña. Lo anterior, bajo un criterio conservador lleva a sugerir que se prioricen los calefactores a pellet y kerosene que sí reflejan una reducción significativa e importante en el consumo de leña, ya que los factores de emisión de los calefactores a leña certificados se obtienen bajo condiciones de operación en los laboratorios que puede diferir de las condiciones de operación real, para ejemplificar la variabilidad en los factores de emisión de los calefactores a leña certificados se puede mencionar que existe una desviación estándar de un 30% sobre el valor promedio de las emisiones obtenidas por los 21 equipos a leña con certificación vigente en el SEC. La conclusión anterior se puede reafirmar a partir de los resultados obtenidos con los estimadores de *matching* con diferencias en diferencias, ya que si el hogar escoge un equipo a pellet se observa una reducción en el consumo de leña que varía entre 2900 kg y 3000 kg (el consumo original para estos hogares tratados era 3257 kg), si el hogar escoge un equipo a kerosene el consumo de leña se reduce entre 3900 kg y 4000 kg (el consumo original para estos hogares tratados era 4029 kg), pero si el hogar escoge un nuevo equipo a leña certificado no se observa una reducción estadísticamente significativa. Además, se determina que este programa reduce significativamente las emisiones anuales entre 28,1 kg y 28,7 kg de MP_{2,5} por hogar. Sin embargo, como en la evaluación ex – post no se midieron las emisiones reales de los nuevos calefactores a leña certificados, y solo se está asumiendo un factor de emisión no se puede asegurar desde el punto de vista de la evaluación ex – post que la reducción en las emisiones para este tipo de calefactores sea solo atribuible a un supuesto demasiado optimista sobre los factores de emisión de los nuevos calefactores a leña certificados.

¹ Es necesario aclarar que esta reducción corresponde a un valor promedio por hogar, pero que no necesariamente un recambio a un calefactor de pellet o kerosene reduce en 100% el consumo de leña debido a que en algunos hogares estaba instalado más de un equipo a leña.

Finalmente, la evaluación ex - post del programa de aislación con el método de diferencias en diferencias demuestra que este programa no es efectivo para reducir el consumo de leña ni para reducir las emisiones de $MP_{2,5}$. Aun cuando se observa una reducción promedio de las emisiones de $MP_{2,5}$ en todas las estimaciones, la alta variabilidad en los resultados por hogar no permite asegurar con un 95% de confianza que esa reducción es diferente de cero. Los resultados de los estimadores de *matching* con diferencias en diferencias también muestran que no se genera ningún efecto sobre el consumo de leña ni sobre las emisiones de $MP_{2,5}$ ². Este resultado se mantiene incluso cuando se evalúa el efecto conjunto del programa de recambio de calefactores y aislamiento térmico. No obstante, el programa sí genera mejoras en la percepción de confort térmico, lo cual implica que los hogares beneficiados mejoran su bienestar aun cuando mantienen su consumo de leña y emisiones. Pero como esta evaluación ex - post se enfoca en la efectividad para mejorar la calidad ambiental, se concluye que la reducción de emisiones podría ser mayor si se focalizan los recursos de este programa hacia el recambio de calefactores.

² Si se requiere un valor promedio de reducción independientemente de su significancia estadística, se puede utilizar el coeficiente estimado con el método de *matching* con diferencias en diferencias que varía entre 5,2 y 6,1 kg/año de $MP_{2,5}$.

Tabla I. Resumen de impactos estimados con evaluaciones ex – post y comparación con impactos estimados con evaluaciones ex – ante

Tratamiento	Valor de impacto recomendado para Temuco y Padre Las Casas	Intervalo de confianza al 95%	Resultados ex - ante de AGIES para PDA de Temuco y Padre Las Casas
Aplicación de PDA para MP _{2,5}	2,53 µg/m ³	[1,23 ; 3,83] µg/m ³	Reducción de 8,8 µg/m ³ al segundo año de implementación del PDA de Temuco y Padre Las Casas (Fuente: MMA, 2014)
Prohibición durante episodio crítico	47,35 µg/m ³ de MP _{2,5} para episodio de emergencia.	[45,73 ; 48,97] µg/m ³ de MP _{2,5} para episodio de emergencia.	Reducción de aproximadamente 18 µg/m ³ por día de episodio crítico los primeros dos años de implementación del PDA de Temuco y Padre Las Casas. Sin embargo, esta reducción no se incorpora en la proyección del PDA porque se afirma que es impredecible el número de días con episodio crítico (Fuente: MMA, 2014)
	7,17 µg/m ³ de MP _{2,5} para episodio de pre - emergencia.	[3,98 - 10,34] µg/m ³ de MP _{2,5} para episodio de pre - emergencia.	
Recambio de calefactores	Entre 28,1 y 28,7 kg/año de MP _{2,5} por recambio de equipo.	[18,5 ; 38,5] kg/año de MP _{2,5} por recambio de equipo.	Reducción de 153 kg/año de MP _{2,5} para estufa a leña certificada, 166 kg/año de MP _{2,5} para estufa a pellet y 169 kg/año de MP _{2,5} para estufa a kerosene (Fuente: GreenLabUC, 2013)
Aislamiento térmico	0 kg/año de MP _{2,5} por vivienda aislada	[-13,8 ; 1,6] kg/año de MP _{2,5} por vivienda aislada.	Reducción desde 20 kg/año hasta 57 kg/año de MP _{2,5} dependiendo del tipo de vivienda y mejoramiento térmico realizado (Fuente: GreenLabUC, 2013)
Recambio de calefactores y aislamiento térmico en forma conjunta	20,6 kg/año de MP _{2,5} por recambio de equipo.	[9,8 ; 31,4] kg/año de MP _{2,5} por recambio de equipo.	Reducción de 153 kg/año de MP _{2,5} para estufa a leña certificada, 166 kg/año de MP _{2,5} para estufa a pellet y 169 kg/año de MP _{2,5} para estufa a kerosene. Además, una reducción de 20 kg/año a 57 kg/año de MP _{2,5} dependiendo del tipo de vivienda y mejoramiento térmico realizado (Fuente: GreenLabUC, 2013).

Fuente: Elaboración propia

1 INTRODUCCIÓN

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es el encargado del diseño y aplicación de políticas, planes y programas en materia ambiental, así como de la protección y conservación de la biodiversidad biológica y de los recursos naturales renovables e hídricos, promoviendo el desarrollo sustentable, la integridad de la política ambiental y su regulación normativa (DS N°8 /2010 MMA).

La política ambiental tiene por objetivo atender y resolver los problemas ambientales que tanto el gobierno como la ciudadanía consideran prioritarios. El Departamento de Economía Ambiental (DEA) del MMA, tiene dentro de sus funciones asesorar al MMA en la elaboración de presupuestos ambientales sectoriales, promoviendo su coherencia con la política pública ambiental, y en el desarrollo de instrumentos económicos para la gestión ambiental y la sustentabilidad. En atención a este mandato, el DEA está comprometido con la generación de herramientas económicas e información ambiental que permitan el diseño, evaluación e implementación eficiente de políticas públicas impulsadas por el Ministerio, aportando estratégicamente a la toma de decisiones y promoviendo a la transversalidad de los tres pilares del desarrollo sustentable.

Actualmente, el DEA desarrolla un programa de Evaluación Ambiental de Políticas Públicas, cuyo objetivo central es apoyar la gestión del Ministerio con información relevante respecto a su intervención pública y así perfeccionar el desarrollo e implementación de políticas futuras. Dentro de sus objetivos específicos se encuentran: i) Elaborar y consensuar metodologías de análisis que permitan una mejor evaluación de la política ambiental, y ii) Evaluar el impacto, eficiencia, y efectos distributivos de la política pública ambiental tanto ex - ante como ex - post para proponer mejoras para futuras implementaciones.

Específicamente, la evaluación ex - post se enfoca en la evaluación de impacto de la política pública ambiental. Se preocupa de saber cuál es el impacto (o efecto causal) de un programa sobre un resultado de interés, analizando los cambios directamente atribuibles al programa. Lo anterior, se contextualiza en una visión más amplia, relacionada con la formulación de políticas basada en evidencias.

Como parte de la estrategia de Planes de Descontaminación, y dado que la principal fuente emisora en el sur del país es el uso de leña para calefacción, la Estrategia está enfocada en promover una Calefacción Sustentable. Además, en cada uno de los PDA³ se incluyen medidas que tienen por objetivo diversificar la matriz energética de la calefacción domiciliar, comercial y pública. En el plano residencial, el PDA de Temuco y Padre Las Casas se estructura sobre un grupo de cuatro grandes ejes de trabajo, estos son:

³ Los Planes de Descontaminación Atmosférica son instrumentos de gestión ambiental diseñados para contribuir al cumplimiento de las normas primarias de calidad ambiental, y además, las medidas que lo componen varían dependiendo de las fuentes emisoras causantes de la problemática ambiental.

- Recambio de calefactores y cocinas a leña
- Mejorar la aislación térmica en las viviendas
- Fomentar la calidad de la leña
- Educar a la ciudadanía

Así, el MMA requiere contar con una evaluación ex - post del PDA de Temuco y Padre Las Casas, que permita determinar el efecto causal entre la política pública y sus impactos en la calidad del aire, eliminando efectos provocados por otras variables exógenas (o confundentes).

Una evaluación de impacto o evaluación ex - post permite medir la efectividad de las políticas, programas o medidas ambientales, ya que busca determinar si las metas esperadas han sido logradas. Sin embargo, realizar una evaluación ex - post es un desafío difícil. Por ejemplo, no es posible interpretar simplemente la fecha de implementación de las medidas del PDA de Temuco y Padre Las Casas como un único evento temporal que provoca la caída en las concentraciones de material particulado respirable (MP₁₀) o material particulado fino (MP_{2,5}), ya que previamente, al mismo tiempo o posteriormente pueden haber ocurrido otros eventos que ayuden a variar las concentraciones de contaminación. Estos últimos factores, si son no observables para el investigador (no disponibles en las bases de datos) hace complejo o incluso imposible estimar el aporte individual de cada medida del plan si no se utilizan las metodologías correctas y no existe la información requerida por ellas.

De acuerdo a Herrick & Sarewitz (2000) las evaluaciones ex – post pueden ser mucho más valiosas que las evaluaciones ex – ante como una guía para el desarrollo de políticas ambientales. Sin embargo, el problema principal para realizar una evaluación ex - post se asocia a la incapacidad de observar el indicador de resultado en un escenario contrafactual, es decir, el indicador de la variable de resultado (en este caso consumo de leña, emisiones o concentraciones de material particulado) si no se hubiese aplicado la política regulatoria o medida del PDA bajo análisis. Solamente se puede decir que la medida tendría un efecto causal sobre los indicadores ambientales si en ausencia de la medida los indicadores de resultado tuvieran un valor diferente al observado. La imposibilidad de observar los indicadores ambientales en presencia y en ausencia de la medida (tratamiento) en el mismo momento en el tiempo se conoce como el problema fundamental de la inferencia causal (Holland, 1986).

Una opción dentro de las metodologías de evaluación ex - post es el diseño experimental en el cual se genera una asignación aleatoria de los que reciben o no el tratamiento (en este caso un programa o regulación ambiental). El efecto del tratamiento es simplemente la diferencia de las medias aritméticas entre los individuos con tratamiento y el grupo de control. Si en el diseño experimental la aleatorización fue realizada correctamente y si los grupos tienen un tamaño adecuado, no se requiere contar con estimaciones de la variable de resultados en la situación pre-tratamiento porque la asignación al azar garantiza que

ambos grupos presentarían en promedio el mismo valor inicial de la variable de resultado, y por lo tanto, toda la diferencia posterior en el resultado se explicaría por la variable de tratamiento.

Sin embargo, en la situación de la presente consultoría no es posible aplicar un diseño experimental ya que se ha decidido evaluar las medidas del PDA en forma posterior a la aplicación del tratamiento, y además, ha existido selección de participación en base a las características de los tratados (por ejemplo, la participación en un programa de recambio de artefactos a leña está condicionado a la disposición de los hogares, que depende de su conciencia ambiental, características del calefactor antiguo, ingreso, expectativas de eficiencia en la calefacción, entre otras, por lo cual los hogares que participan no son representativos de la población).

Cuando no existe una asignación aleatoria entre los grupos de tratados y controles tal como en el caso de esta consultoría, se puede realizar una evaluación ex - post con métodos cuasi-experimentales o no experimentales, los cuales buscan simular una aleatoriedad para la asignación de los grupos de control y tratamiento, respondiendo a la pregunta “¿Cuál sería la situación actual del grupo de tratados de no haber recibido el tratamiento?”. Una condición necesaria para aplicar la mayoría de estas metodologías, dado que se utilizan cuando ya se aplicó el programa, es tener la información sobre las condiciones de los tratados y no tratados antes del programa (línea base).

A continuación se mencionan diferentes metodologías cuasi-experimentales y no experimentales que son posibles de aplicar de acuerdo a la literatura científica (ver Blundell & Costa Dias, 2002; Imbens & Wooldridge, 2009).

Cuando existen datos de panel, es decir, una muestra de individuos (hogares, comunas u otras unidades) a los cuales se les hace seguimiento a través del tiempo, es posible generar estimadores de diferencias en diferencias (DID). El método DID se sustenta en su capacidad de estimar los efectos sobre las unidades tratadas bajo la suposición que los factores no observables a nivel individual son invariables en el tiempo y que los factores no observables entre el grupo de tratados y control siguen tendencias similares en ausencia del tratamiento⁴.

Por otra parte, una metodología no experimental bastante popular es la construcción artificial de grupos de control por medio de *matching*, el cual es intensivo en uso de datos con gran número de variables condicionantes (Heckman, Ichimura, & Todd, 1997). Otra

⁴ Si la información requerida no se encuentra disponible en forma de panel, y solo existe información de series de tiempo o bien de corte transversal, a veces se sugiere utilizar metodologías de *second best* como “*before and after*” o “*with and without*” que pueden ser estimadas con mínimos cuadrados ordinarios. Sin embargo, estas técnicas no permiten estimar el efecto del tratamiento, ya que la primera asume que otros efectos distintos al tratamiento no cambian entre los tratados, mientras la segunda asume que otros efectos distintos al tratamiento no cambian a través del tiempo.

metodología similar y popular es el *propensity score matching* (Rosebaum & Rubin, 1983; Dehejia & Wahba, 1999) que simplifica el *matching* al generar solo una dimensión para comparar a las unidades tratadas y controles. El grupo de control en este caso es construido posteriormente desde otras bases de datos tomadas por el investigador o desde fuentes secundarias. En las técnicas de *matching* o *propensity score matching* se asume que la asignación del tratamiento es una función de un vector de características observables, es decir, para cada observación existe un vector de características mediante el cual se puede realizar un proceso de *matching*, posibilitando que cada individuo del grupo de tratados sea comparado con su símil o “gemelo” en el grupo de control, logrando así simular un diseño experimental. Sin embargo, este tipo de metodología ha sido fuertemente cuestionada por asumir que la selección solo se basa en características observables, por ello han existido refinamientos a esta metodología que requieren datos en forma de panel para hacer un *matching* de diferencias en diferencias.

También, existen otras metodologías no experimentales que provienen del campo tradicional de la econometría.

En el caso de que existan variables de interés para la formulación de un modelo de regresión cuyos datos no están disponibles, generalmente se omiten y se asume que están incorporados en el error de la regresión de mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Sin embargo, si la variable omitida está correlacionada con una o varias de las variables explicativas incluidas en el modelo (esto es bastante usual por la autoselección de los tratados en los programas públicos) el error también lo estará, generando estimadores sesgados e inconsistentes debido a que existe un problema de endogeneidad que viola los supuestos de MCO. Una solución es la aplicación de una variable instrumental, la cual corresponde a una variable que justificadamente no debe estar incluida en el modelo de regresión inicial, y además, debe estar parcialmente correlacionada con la variable endógena. A pesar de que puede ser estimada con datos de corte transversal y tiene simplicidad de implementación técnica, la mayor dificultad de esta metodología está en encontrar la variable instrumental que cumpla con estos requerimientos.

Si existe un problema de sesgo de selección debido a que los beneficiarios del programa se autoseleccionan para participar, es posible utilizar la metodología de función de control, que en su versión más tradicional se basa en el modelo de autoselección de Heckman (1979) conocido típicamente como modelo *Heckit*. Una característica atractiva de esta alternativa es que se puede estimar solo con datos de corte transversal, pero la principal desventaja es que identifica el impacto del programa a partir de supuestos fuertes sobre la distribución de probabilidad de la variable de participación.

Finalmente, otra metodología no experimental es la regresión discontinua, la cual considera una ventana de datos arbitraria en torno a la fecha de implementación del tratamiento (programa ambiental), o alternativamente, en torno a un puntaje de corte para ser seleccionado como beneficiario. La idea es que los factores no observables que afectan el impacto de la medida sean similares en torno a la fecha de implementación, o alternativamente, en torno al puntaje de corte, y además, que en el límite por la izquierda y

por la derecha del umbral existan suficientes observaciones para apreciar gráficamente un cambio discreto en la variable de resultado. Bajo supuestos no muy restrictivos, el enfoque de regresión discontinua provee estimaciones consistentes del impacto del tratamiento en presencia de variables omitidas que varían en el tiempo (Imbens & Lemieux, 2007). Aun cuando esta metodología se puede estimar con datos de corte transversal después del programa, para validar sus supuestos se requiere contar con información de línea base.

2 OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar, proponer e implementar una evaluación de impacto para el PDA de Temuco y Padre las Casas, a través de una evaluación ex - post sobre una o más de sus principales medidas.

Objetivos Específicos

- Diagnosticar la factibilidad, cumplimiento, efectividad y eficiencia de las medidas residenciales destinadas a reducir las emisiones provenientes del uso de leña, asociadas al programa de recambio de artefactos a leña, incluyendo aislamiento térmica de viviendas, del PDA de Temuco y Padre las Casas.
- Recopilar, analizar y consolidar la información disponible sobre las principales medidas del PDA, necesarias para realizar una evaluación ex - post. Las medidas que se considerarán principales corresponden a las contenidas en los ejes de acción de recambio de artefactos a leña y aislamiento térmica de viviendas.
- Proponer una metodología de evaluación ex - post a aplicar para una o más de las principales medidas del plan, en función de su factibilidad.
- Levantar información necesaria y aplicar la metodología propuesta para evaluar el impacto de una o más medidas del PDA, acorde a la factibilidad diagnosticada.
- Realización de curso de capacitación para profesionales del MMA.

3 ACTIVIDADES A REPORTAR EN EL INFORME FINAL

Componente 1. Diagnosticar la factibilidad, cumplimiento, efectividad y eficiencia de las medidas residenciales destinadas a reducir las emisiones provenientes del uso de leña, asociadas al programa de recambio de artefactos a leña, incluyendo aislación térmica de viviendas, del PDA de Temuco y Padre las Casas.

1.1 Analizar la factibilidad de implementación de medidas asociadas a reducir emisiones de leña del sector residencial. En este punto se requiere contrastar las actuales capacidades instaladas o recursos disponibles versus los que se requerirían para dar cumplimiento a lo establecido en el PDA.

1.2 Determinar el grado de implementación y cumplimiento de las medidas asociadas a reducir emisiones de leña en el sector residencial.

1.3 Proponer indicadores de seguimiento para evaluar el grado de implementación del PDA.

Componente 2. Recopilar, analizar y consolidar la información disponible sobre las principales medidas del PDA, necesarias para realizar una evaluación ex - post. Las medidas que se consideran principales corresponden a las contenidas en los ejes de acción de recambio de artefactos a leña y aislación térmica de viviendas.

2.1 Recopilar y comparar las bases de datos de postulación al programa de recambio de calefactores y subsidios de aislación, identificando los criterios de selección, requisitos, montos de copagos requeridos, entre otros a determinar por el consultor.

2.2 Determinar las variables que influyen en la probabilidad de ser seleccionado como beneficiario del programa de recambio, subsidio de aislación térmica y secado de leña.

2.3 Recopilar y unificar las bases de datos de los postulantes, pre-seleccionados y seleccionados para los programas/proyectos. El MMA proporcionará al consultor las bases de datos disponibles y apoyará en las gestiones para recopilar la información con otras instituciones públicas.

2.4 Revisar bibliografía disponible de uso de leña y otros energéticos de calefacción para la zona, como encuestas aplicadas por el MMA, Ministerio de Energía, CASEN u otros generando así una propuesta bibliográfica.

2.5 Recopilar variables meteorológicas y otras relevantes para determinar algún tipo de relación con el consumo de energéticos destinado para calefacción domiciliaria.

2.6 Definir la información necesaria faltante para la evaluación de impacto de las medidas principales, que será levantada en el desarrollo del componente 4.

Componente 3. Proponer metodología de evaluación ex - post a aplicar para una o más de las principales medidas del plan, en función de su factibilidad

3.1 Proponer la o las preguntas de evaluación a responder con el estudio. Especificar la teoría del cambio que describa cómo cada medida lograría un resultado esperado, elaborar una cadena de resultados, fomentar la hipótesis que será testeada por la evaluación y proponer indicadores de desempeño.

3.2 Definir la estrategia de identificación para la evaluación, señalando como se construirá el grupo de control (contrafactual) y los supuestos asociados a esta etapa.

3.3 Proponer la metodología mediante la que se realizará la evaluación de impacto de cada una de las medidas seleccionadas (*matching*, mínimos cuadrados, diferencias en diferencias, regresión discontinua, variables instrumentales, entre otras) justificando de manera clara su elección.

Componente 4. Levantar información necesaria y aplicar metodología propuesta para evaluar el impacto de una o más medidas del PDA, acorde a la factibilidad antes diagnosticada.

4.1 Definir las unidades de análisis, el tratamiento, el contexto de evaluación, entre otros.

4.2 Definir los procedimientos e instrumentos para levantar la información faltante necesaria para la evaluación ex - post de las medidas seleccionadas.

4.3 Definir la población objetivo y los requerimientos de tamaño muestral para identificar si existen impactos estadísticamente significativos entre los indicadores de impacto del grupo de tratamiento y grupo de control.

4.4 Discutir aspectos de validez interna y externa.

4.5 Desarrollar cuestionarios y protocolos asociados a levantamiento de información.

4.6 Aplicar el cuestionario y/o mediciones de acuerdo a los procedimientos y requerimientos previamente definidos.

4.7 Aplicar la metodología propuesta en el componente 3.

4 DESARROLLO DE ACTIVIDADES DEL COMPONENTE N° 1

4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS MEDIDAS DEL PDA EVALUADAS EX – ANTE

Las comunas de Temuco y Padre Las Casas han registrado históricamente altas concentraciones de material particulado respirable (MP₁₀) y material particulado fino (MP_{2,5}). Por ello, en junio del año 2010 entró en vigencia el PDA establecido a través del D.S. N°78/2009 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, ya que se superaban las concentraciones de 24 horas para el MP₁₀. Luego, en enero de 2012 entró en vigencia la norma primaria de calidad del aire de MP_{2,5}, en virtud de la cual se solicitó la declaratoria de zona saturada de Temuco y Padre Las Casas para este contaminante. En consecuencia, en noviembre del año 2015 a través del D.S. N°2/2013 se declaró a estas comunas como zona saturada por MP_{2,5} como concentración de 24 horas, estableciéndose un PDA para reducir las emisiones del MP_{2,5} que al mismo tiempo estableció una actualización del PDA existente⁵, así ambos se consolidaron en un solo procedimiento para efectos de los trámites exigidos por el reglamento para la dictación de Planes de Prevención y Descontaminación.

Las principales medidas incorporadas en el PDA para MP₁₀ asociadas al sector residencial establecían dentro de un plazo de 10 años un recambio de 12 mil calefactores a leña, 10 mil subsidios para aislación de viviendas, prohibición de chimeneas y prohibición de comercialización de leña húmeda. Posteriormente, el nuevo PDA estableció metas para cumplir las normas de calidad del aire tanto para MP₁₀ como para MP_{2,5}⁶. De acuerdo a MMA (2014) la principal fuente emisora de MP_{2,5} corresponde al sector residencial que aporta el 94% del total. Es por ello, que las medidas incorporadas en el nuevo PDA se han enfocado en el recambio de calefactores, mejoramiento térmico de las viviendas nuevas y existentes, y disminución en la humedad de la leña utilizada para calefacción. Lo anterior, se complementa con una nueva regulación a nivel nacional sobre el mercado de artefactos de combustión a leña para que se cumplan normas de emisión más estrictas. Cabe mencionar que algunas de estas medidas ya habían sido incluidas previamente en el PDA del año 2010, por lo cual fueron consideradas como parte de la línea base del nuevo PDA.

De acuerdo a los resultados del AGIES del PDA para MP_{2,5} realizado por el MMA (2014) el sector residencial reduciría fuertemente sus emisiones respecto al escenario base en el año final de evaluación, principalmente por el aporte del recambio de 27 mil equipos (45%), reacondicionamiento térmico de 40 mil viviendas existentes (29%) y la prohibición gradual de calefactores que no cumplen la norma (9%).

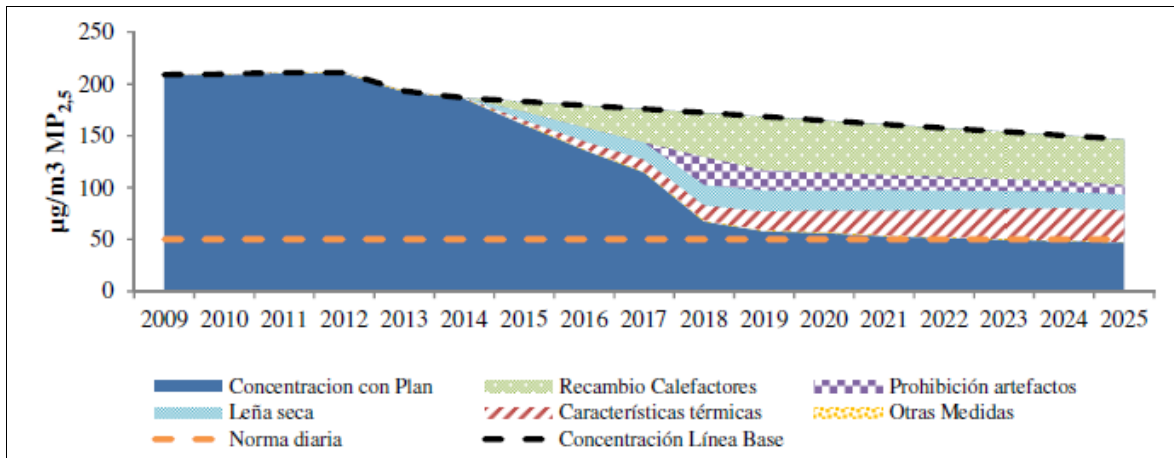
La Figura 1 y Figura 2 muestran la evolución proyectada en el AGIES para las concentraciones de MP_{2,5} diaria y anual, respectivamente. Se debe destacar que al año

⁵ Resolución Exenta N° 976 del 14 de noviembre de 2013, publicada el 20 de diciembre del mismo año.

⁶ De acuerdo a MMA (2014) el cumplimiento de la norma de MP_{2,5} siempre implicará el cumplimiento de la norma de MP₁₀. En consecuencia, el Análisis General del Impacto Económico y Social del PDA de Temuco y Padre Las Casas se enfoca en la métrica del primero, al constituir la restricción más exigente en la zona saturada.

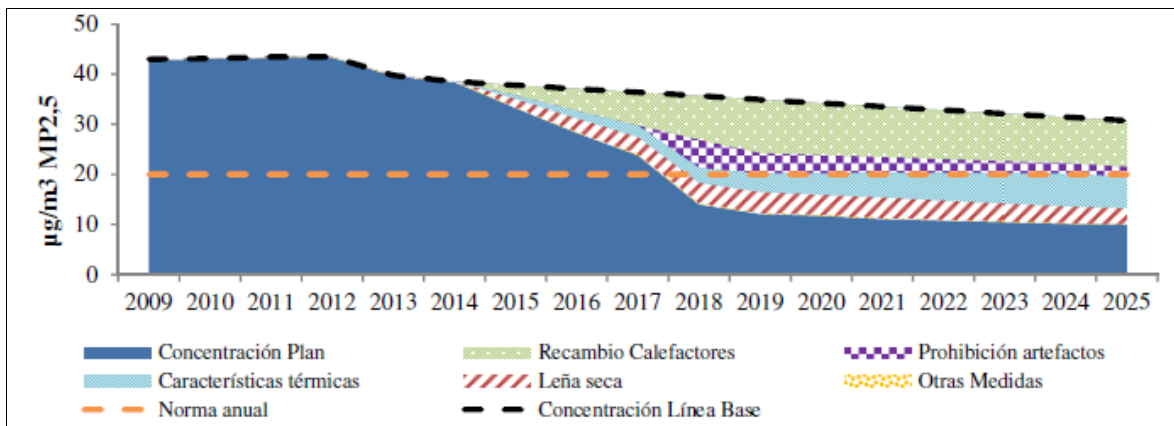
2016 las reducciones proyectadas reflejan una caída entre un tercio y la mitad de las concentraciones respecto a la línea base. Por lo cual, se puede concluir que si se cumplen los supuestos establecidos en la evaluación ex – ante, actualmente se observarían reducciones importantes en los niveles de concentraciones diarias y anuales que deberían ser detectadas en la evaluación ex – post.

Figura 1. Proyección de concentración diaria de MP_{2,5}



Fuente: MMA (2014)

Figura 2. Proyección de concentración anual de MP_{2,5}

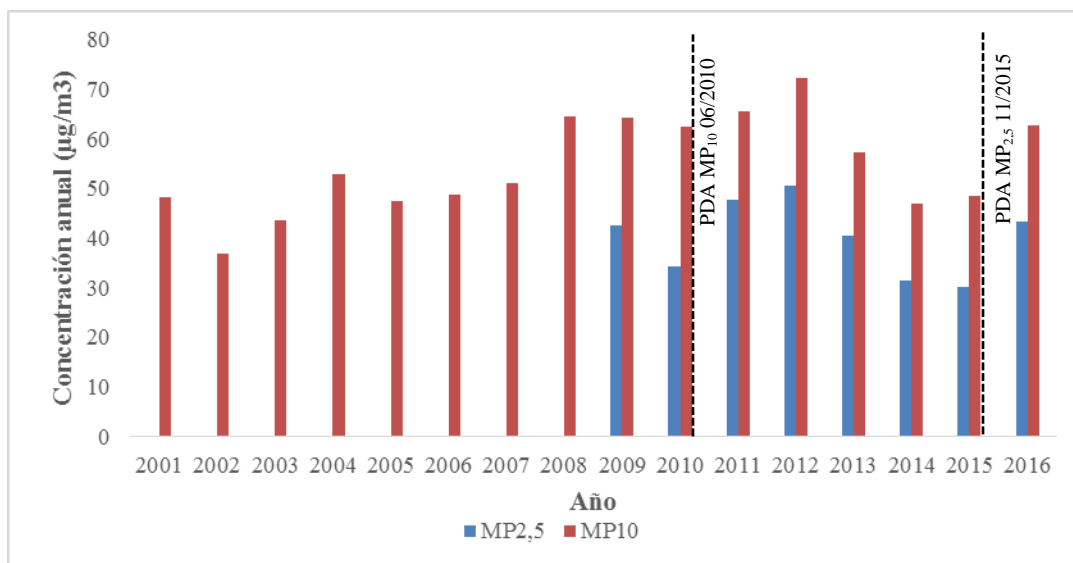


Fuente: MMA (2014)

Si efectivamente la aplicación del PDA en junio del año 2010 generó una reducción de las emisiones, este efecto debería ser permanente e incluso creciente (por la profundización en la implementación de las medidas), pero tal como se aprecia en la Figura 3 las concentraciones de MP₁₀ y MP_{2,5} durante el año 2016 (en la estación de monitoreo Las Encinas de Temuco) volvieron a niveles de concentración previos a la implementación del

PDA. Además, esto sucedió a pesar que ya había entrado en vigencia en noviembre de 2015 el nuevo PDA para MP_{2,5}.

Figura 3. Concentración promedio anual de MP₁₀ y MP_{2,5}



Fuente: Elaboración propia en base a datos del SINCA

4.2 CAPACIDADES INSTALADAS Y RECURSOS REQUERIDOS POR EL PDA

4.2.1 AISLACIÓN TÉRMICA DE VIVIENDAS NUEVAS Y EXISTENTES

La eficiencia térmica de una vivienda debería afectar su requerimiento de energía para alcanzar una cierta temperatura o confort térmico. Así, una vivienda con mayor eficiencia térmica debería requerir menos consumo energético para calefacción. Cabe destacar que las viviendas existentes pueden presentar una alta variabilidad en su eficiencia térmica, debido a que cambió la normativa para la construcción de viviendas en los años 2000 y 2007. Específicamente, las casas antes del año 2000 no estaban sujetas a una normativa térmica, las casas construidas entre el año 2000 y 2007 estaban sujetas a una norma que exigía solo aislación en el cielo, y las viviendas construidas a partir del año 2008 estaban sujetas a una norma térmica para muros, cielo y piso.

El mejoramiento térmico de viviendas nuevas o existentes es una medida orientada a la reducción del consumo de leña, lo que finalmente debería reducir las emisiones de MP₁₀ y MP_{2,5}. En particular, el PDA de Temuco y Padre Las Casas eleva las exigencias actuales de la ordenanza general de urbanismo y construcciones (OGUC) que se aplican a la construcción de viviendas nuevas, y además, destina recursos para la entrega de subsidios para el mejoramiento térmico de las viviendas existentes.

Para alcanzar este mayor aislamiento térmico es posible asumir que las mejoras de aislación en cielo y en elementos verticales compuestos de tabiquería se realizan mediante

lana de vidrio, mientras que los muros de albañilería y hormigón son aislados con poliestireno expandido (Cardenas, Araneda, & Beaumont, 2014). Esto concuerda con estudios realizados sobre los diferentes programas pilotos de reacondicionamiento térmico desarrollados en Temuco y Padre Las Casas los cuales muestran que los materiales más utilizados para mejorar la envolvente térmica en la vivienda son lana de vidrio y poliestireno expandido. Además, es necesario utilizar sellos para juntas constructivas que permiten mejorar la hermeticidad de la vivienda, membranas que oponen resistencia al paso de aire, ventanas de doble vidriado hermético, y puertas termo aisladas (SICAM-Ingeniería, 2016).

Para abastecer el mercado nacional, la importación de lana de vidrio se realiza principalmente por tres empresas que abarcan el 95,5% del total de los aislantes de lana de vidrio que provienen en su gran mayoría de Argentina, China y Colombia (SICAM-Ingeniería, 2016). De acuerdo a los datos de aduanas, existe alta variabilidad del valor de estas importaciones según país de procedencia (disminuciones hasta 36% e incrementos hasta 198%). También, existe una altísima variabilidad en la cantidad (toneladas) de estas importaciones a nivel de empresa a través de los años, lo cual permite concluir que no existirían problemas para suplir una mayor demanda generada por las medidas regulatorias del PDA. Específicamente, en la ciudad de Temuco la lana de vidrio es distribuida por grandes mayoristas como el Volcán S.A., RyR Importaciones Ltda., Transaco, P&T Becton, Corrmadera y Romeral, entre otros (SICAM-Ingeniería, 2016).

La oferta de poliestireno expandido se abastece de importaciones de materia prima provenientes de China, México, Estados Unidos y Corea del Sur para generar la producción nacional. De acuerdo a la recopilación de datos de importaciones realizada por SICAM-Ingeniería (2016), a partir de los registros de aduanas se identificaron siete empresas que representan un 95% del mercado, las cuales se dedican a abastecer poliestireno expandido para diversos rubros, incluyendo a la construcción (que representa un 57,5% de la demanda total). En este caso también existe una altísima variabilidad de las importaciones en toneladas para cada una de las empresas que destinan sus productos al rubro de la construcción. Lo anterior, permite inferir que como cualquier bien transable un incremento en la demanda generado por el PDA no debería afectar los precios de este producto, ni generar escasez en el mercado debido a la facilidad que tienen las empresas para importar la materia prima y alterar significativamente su producción. Lo anterior, ya se observó previamente en esta industria luego del incremento de la demanda de 16% durante los años 2013 y 2015 (fuente: Banco Central en base a datos de Cámara Chilena de Construcción) por el auge de la construcción generado a partir de los efectos de la reforma tributaria. Específicamente, las empresas que comercializan poliestireno expandible en Temuco son Syntheon Chile, Polyqui Ltda., Envases Termoaislantes y Aislapol (SICAM-Ingeniería, 2016).

Es obvio que a partir de la implementación de medidas asociadas al mejoramiento térmico de viviendas se generará un significativo incremento de los materiales aislantes previamente mencionados. Sin embargo, de acuerdo a los antecedentes levantados con actores del mercado por SICAM-Ingeniería (2016), las empresas del sector tienen una

amplia capacidad de adaptación a esta demanda, incluso las principales empresas del sector afirman que a la fecha están produciendo a la mitad de su capacidad instalada. Además, afirman que un incremento significativo de su capacidad productiva estará condicionada a que los mayores requerimientos de sus productos sean sostenidos en el tiempo. Esta capacidad de adaptación de la oferta es bastante creíble considerando que en el pasado las empresas del sector se pudieron adaptar sin problemas a la implementación de las nuevas reglamentaciones térmicas del año 2000 y 2007.

4.2.2 RECAMBIO DE CALEFACTORES

Las medidas asociadas a los programas de recambio de calefactores, prohibición del uso de chimeneas, y prohibición gradual de calefactores no certificados generará una renovación del parque de artefactos de calefacción. Además, la posibilidad de recambio a otro combustible como pellet, gas o kerosene afectará la composición del uso de combustibles en la zona del PDA. Lo anterior, generará una mayor demanda por calefactores certificados o que utilicen combustibles sin prohibiciones, reduciendo en términos relativos la demanda por leña, elevando la demanda por los combustibles alternativos, y además, incrementando la demanda por servicios de instalación y mantenimiento de estos nuevos equipos.

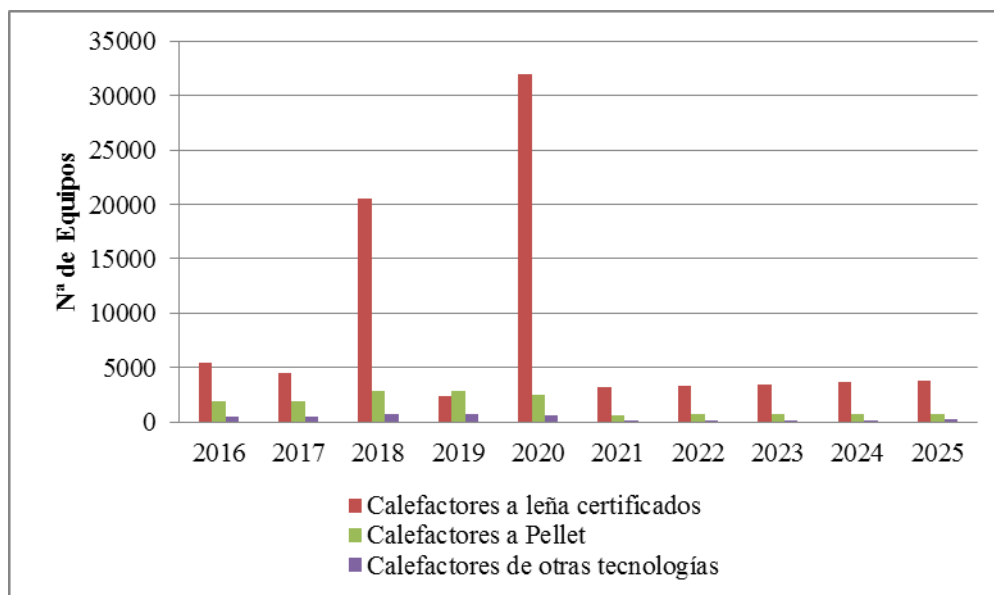
De acuerdo a datos proporcionados por el MMA entre 2014 y 2016 el 31,7% de los recambios fue a equipos a leña, 52,5% a equipos a pellets, 15,8% a equipos a kerosene y 0% a equipos a gas⁷, mientras que la composición actual de los equipos es 65,8% de estufas con templador, 32,9% de salamandras, estufas de cámara simple o equipos hechizos y 1,3% de chimeneas.

La incorporación de equipos a pellets en el parque de artefactos de Temuco y Padre Las Casas gracias a los programas de recambio estimularía un rápido crecimiento en la demanda por este combustible, especialmente en los primeros años de la implementación del PDA. El recambio de calefactores también incrementaría la demanda por servicios de instalación y mantenimiento de estos equipos. Especialmente, en los años en que se vaya consolidando la prohibición gradual en el uso de calefactores no certificados.

En la Figura 4 se presentan las proyecciones de SICAM-Ingeniería (2016) para el *stock* de nuevos artefactos que se requerirían debido a las medidas del PDA que incluyen la restricción total al uso de chimeneas, y luego según plazos diferenciados, a la prohibición del uso de equipos no certificados.

⁷ En términos absolutos no hubo ningún recambio a calefactores a gas.

Figura 4. Demanda de calefactores con PDA de Temuco y Padre Las Casas



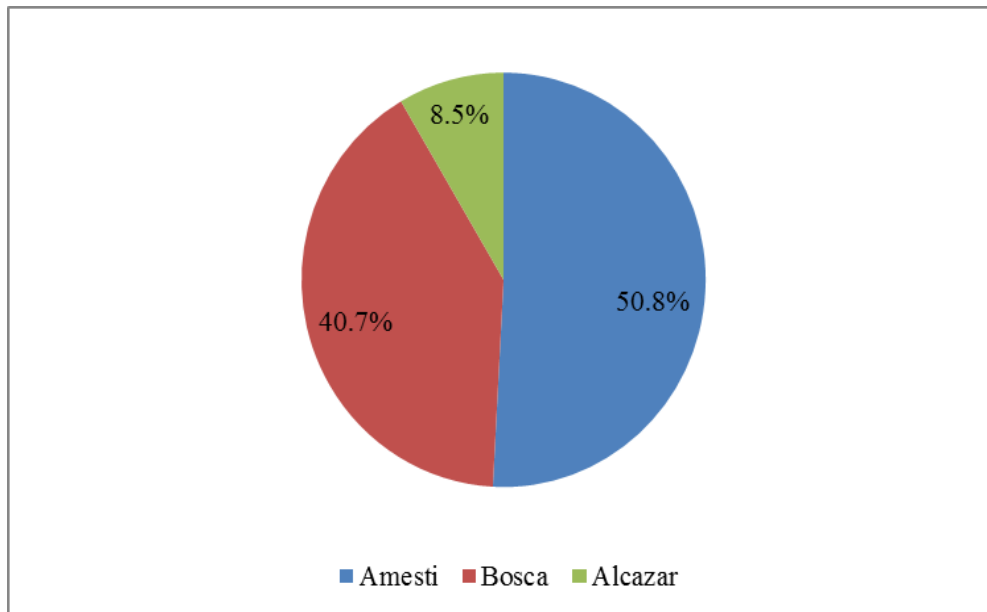
Fuente: Elaboración propia en base a datos de SICAM - Ingeniería (2016)

La oferta de calefactores a leña certificados se origina a través de la producción local e importación de productos, la oferta de calefactores a pellets y kerosene se origina casi exclusivamente a través de la importación de productos, mientras que la oferta de calefactores a gas se origina a través de la producción local e importación de productos. Además, en los últimos años ha existido una mayor participación de calefactores que usan combustibles distintos a leña, lo cual ha reducido la penetración de la leña principalmente en las viviendas nuevas (SICAM-Ingeniería, 2014).

Esta oferta se ha adaptado a la nueva norma de calefactores a leña y las diferentes regulaciones de los PDA que se han ido estableciendo en la zona centro - sur de Chile, ya que los mayores costos de las certificaciones exigidas se puede prorratar en el gran volumen de artefactos comercializados, debido a la alta concentración en el mercado de las marcas Bosca y Amesti (ver Figura 5), lo que se suma a la mayor automatización de procesos para su fabricación. Además, la distribución de estos calefactores a leña se hace de forma centralizada desde la región Metropolitana dependiendo de los requerimientos de cada una de las zonas del país, por lo cual podría existir un fácil redireccionamiento de los productos en las zonas en las cuales las restricciones impuestas por el PDA afecten la demanda.

Según fuentes de la industria consultadas por SICAM-Ingeniería (2016) la implementación de la norma de calefactores, la aplicación de restricciones al uso de calefactores y a humos visibles producto de los diferentes PDA establecidos en las ciudades del centro - sur de Chile, han disminuido la demanda de calefactores a leña respecto a años anteriores.

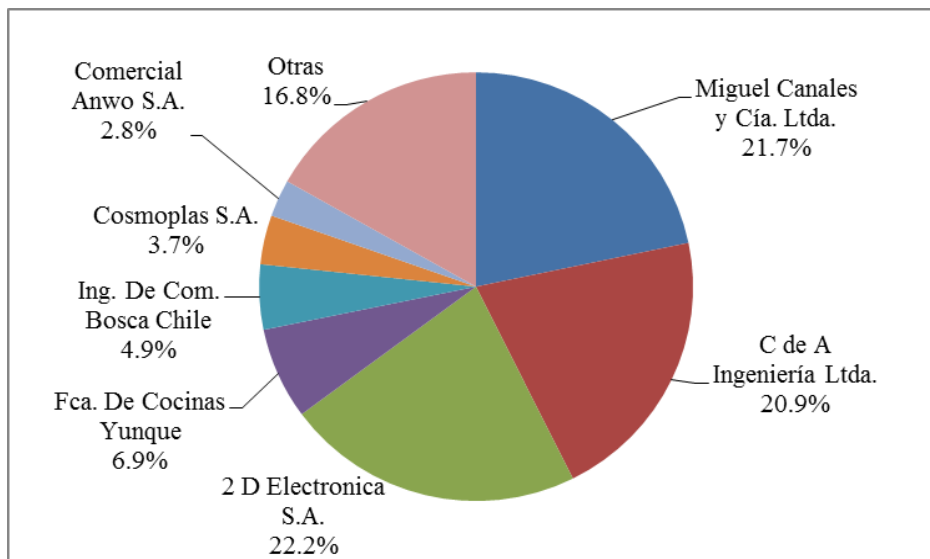
Figura 5. Participación de mercado en calefactores a leña



Fuente: Elaboración propia en base a datos de SICAM-Ingeniería (2016)

Por otra parte, la oferta de calefactores a pellet se caracteriza por un número mayor de potenciales oferentes, incluso algunos que comercializan sus productos de forma *online*, pero el 83,2% de la de esta oferta total se concentra en siete importadores (ver Figura 6).

Figura 6. Participación de mercado en calefactores a pellet

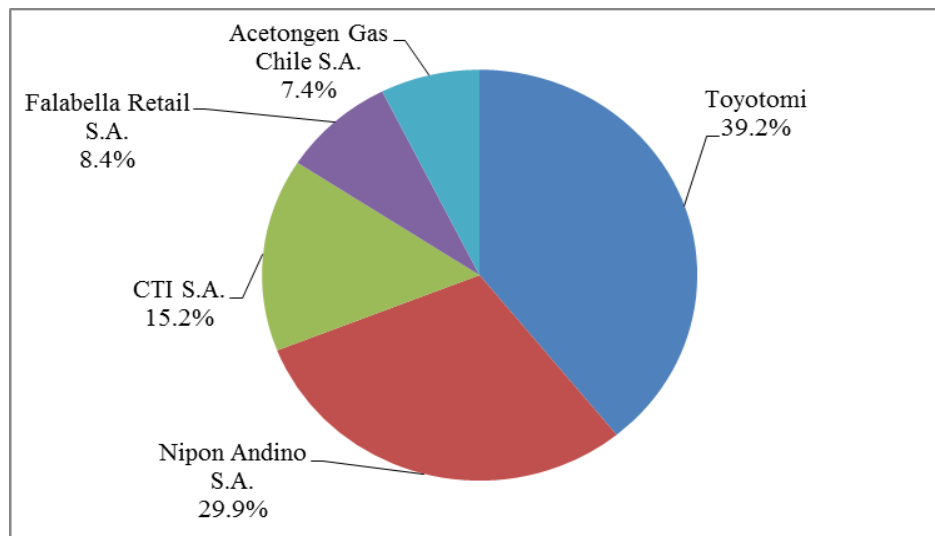


Fuente: Elaboración propia en base a datos de SICAM-Ingeniería (2016)

Finalmente, la oferta de calefactores a parafina y de calefactores a gas es mucho más amplia en diversidad de artefactos y modelos. En el caso de los calefactores a parafina las empresas importadoras más importantes son Toyotomi, Nipon, CTI, Falabella y Acetongen Gas Chile (ver Figura 7), pero en el caso específico de equipos con tiro forzado que son los recomendados para los programas de recambio de calefactores la única empresa importadora es Comercial e Importadora BBR S.A. Por otro lado, en el caso de los calefactores a gas los principales oferentes son Orbis Mertig, Comercial e Importadora BBR S.A. y Metrogas (ver Figura 8).

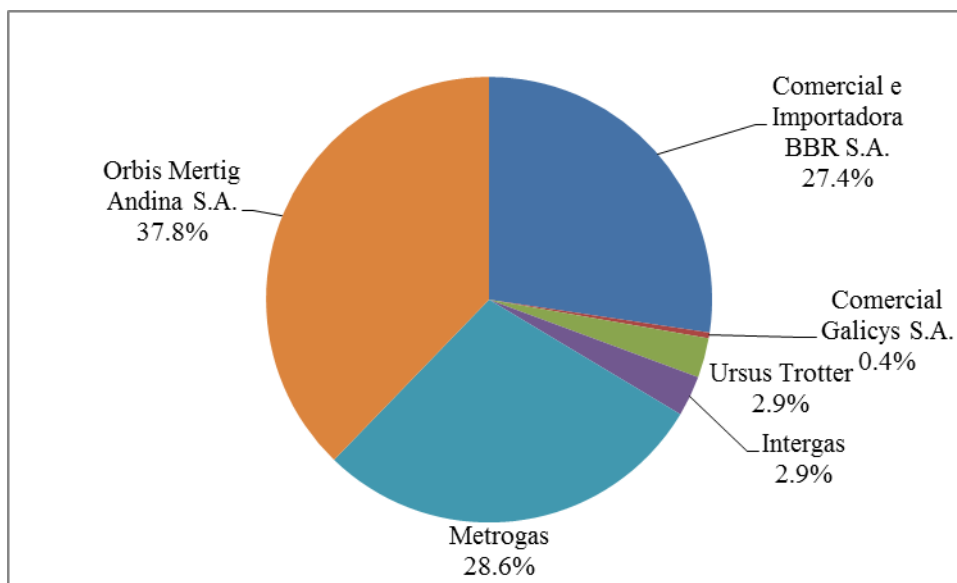
Los canales de comercialización más utilizados por estos oferentes son las tiendas propias que se ubican generalmente en las capitales regionales del centro - sur del país que tienen alta población, tiendas de *retail* que facilitan la compra a través del crédito, grandes ferreterías y tiendas *online*. Respecto a este último canal a pesar de poseer catálogos muy extensos de productos importados muchos de ellos tienen poca salida al mercado. Lo anterior, puede explicarse porque el comercio electrónico no ha penetrado tan fuertemente en algunos segmentos socioeconómicos de la población, y además, porque las tiendas de *retail* también ofrecen los servicios de instalación lo que ofrecería una mejor experiencia de compra.

Figura 7. Participación de mercado en calefactores a kerosene



Fuente: Elaboración propia en base a datos de SICAM-Ingeniería (2016)

Figura 8. Participación de mercado en calefactores a gas



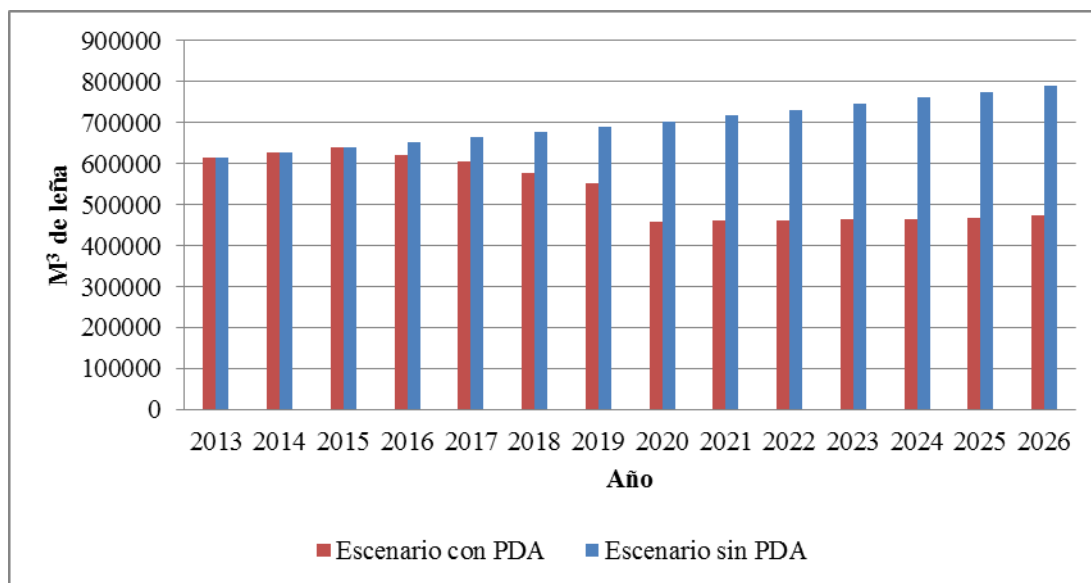
Fuente: Elaboración propia en base a datos de SICAM-Ingeniería (2016)

4.2.3 COMERCIALIZACION Y USO DE LEÑA SECA

A partir de los cambios en el parque de artefactos para calefacción, aislamiento térmico de viviendas, y restricciones a la utilización de leña húmeda es posible estimar el impacto sobre el consumo de leña en la zona del PDA.

Para realizar el cálculo de la demanda SICAM-Ingeniería (2016) señala que no hay cifras concluyentes ni certeras respecto al volumen de leña comercializada en el mercado a pesar que en los últimos años se han desarrollado un gran número de estudios para dimensionar este mercado. En general, los estudios que se aproximan a través del consumo en los hogares son aquellos más certeros para las estimaciones respecto a aquellos que se basan en la caracterización de la oferta, por los incentivos a entregar información distorsionada en el caso de estos últimos. En consecuencia, para la proyección de la demanda de leña en el escenario con PDA, se asumió que en Temuco el consumo de leña por hogar ($m^3/año$) se obtuvo del Estudio de Consumo Energético para Calefacción y Cocción en el sector residencial (CDT, 2014), mientras que para determinar el consumo de leña en viviendas aisladas o nuevas se asumió una reducción del 27% en la demanda, valor obtenido del estudio Evaluación Energética de una Muestra Representativa de las Viviendas Intervenidas en la Iniciativa de Reacondicionamiento Térmico en la Comuna de Temuco (CE3V, 2011), también se supone que las viviendas nuevas poseen una penetración de la leña de un 1% menor por el uso de calefactores con otras tecnologías (SICAM-Ingeniería, 2014), y finalmente, se asume una reducción del 14% del consumo de leña para un calefactor certificado (MMA, 2012). Así fue posible establecer los consumos de leña en los escenarios con y sin PDA (ver Figura 9).

Figura 9. Demanda de leña línea base y con medidas PDA de Temuco y Padre Las Casas



Fuente: Elaboración propia en base a datos de SICAM-Ingeniería (2016)

Los cálculos muestran que la entrada en vigencia de las medidas de subsidios de aislación térmica y prohibición de uso de calefactores a leña no certificados, generarían un impacto directo en la reducción de la demanda de leña.

Sin embargo, el éxito de estos programas se ve severamente amenazado por la falta de una mayor fiscalización⁸ de las regulaciones establecidas para la venta de leña seca originadas por la alta informalidad en el mercado lo que se traduce en una alta heterogeneidad en aspectos como formato de venta, dimensiones, calidad, humedad y tipo de especie forestal. La informalidad surge debido que muchas veces la negociación se hace directamente con los hogares a través de la entrega en la vivienda, cercanía de bosques a centros de consumo, existe una cadena de comercialización muy atomizada, y además, porque la evasión del pago de impuestos, patentes, ausencia de normas laborales, entre otras, permite obtener mayores ganancias respecto a una situación de venta formal. En el caso de la región de la Araucanía solo existen 15 comerciantes certificados y 6 en proceso de certificación (CONAF, 2015). Además, no existe certeza respecto al volumen de leña comercializado, ya que en general cuando se ha hecho levantamiento de información en terreno las cifras de consumo a partir de encuesta a hogares y oferta a partir de encuestas a comercializadores presentan diferencias gigantescas, obviamente esto se explica porque no es posible identificar a todos los oferentes informales, y además, porque ellos tratan de subrepresentar sus ventas para no demostrar la rentabilidad real del negocio. Por otra parte,

⁸ Las medidas relacionadas a la comercialización y uso de leña seca incluyen la fiscalización por parte de la Superintendencia del Medio Ambiente y las municipalidades de Temuco y Padre Las Casas.

se requiere mayor fiscalización al uso de este energético en los hogares que incentive la compra de leña certificada.

No existen cifras concluyentes ni certeras respecto al volumen de leña transada en el mercado. Sin embargo, diversos estudios realizados durante los últimos años han intentado determinar una estimación del volumen de leña consumida. De acuerdo al Ministerio de Energía (2015) el 81% de la energía consumida para calefacción en los hogares entre las regiones de O'Higgins y Aysén proviene de la combustión de leña, seguida por el gas natural 9%, kerosene 5%, gas licuado 4%, y carbón – electricidad – pellet 1%. La preferencia por leña se debe a que este combustible es más económico que el gas, kerosene y electricidad (Schueftan & González, 2013). Además, los hogares tienen una baja disposición a pagar por un mejoramiento en la calidad del aire por medio del uso de leña certificada (Cerda, García, Bahamondez, & Poblete, 2010).

La oferta de leña seca proyectada en la región de La Araucanía de acuerdo a SNCL (2016) y CONAF (2015) es 87.923 m³ para el año 2016. Este volumen es muy inferior a la demanda estimada para el mismo periodo de 621.166 m³ (equivalente al 14%). No obstante, existe un número importante de comerciantes formales no certificados que durante el año mantienen stocks importantes de leña seca (fuente: Reportes mensuales de leña seca de la SEREMI del Medio Ambiente región de La Araucanía), y además, un sector de la población compra leña para el año durante el mes de noviembre o diciembre con el objeto de secarla para el invierno siguiente.

Para incrementar la oferta de leña seca se requiere mayor infraestructura, maquinarias y secadores que permitan profesionalizar la actividad. Pero esto involucra un costo de oportunidad alto asociado al tiempo de espera mientras se seca la leña, que no se ve reflejado necesariamente en un mayor precio de venta en el mercado. Lo anterior, se debe complementar con mayor fiscalización del comercio informal de tal forma que exista un incentivo para pasar a la formalidad, y que no suceda que competidores ilegales enfrenten costos de producción mucho menores (por no pago de IVA, patentes, permisos y regulación laboral). En este sentido SERCOTEC, CORFO e INNOVA han realizado acciones y programas tendientes a mejorar la calidad de la leña, mediante fondos para inversiones, capacitación, y además, la construcción de centros de acopio y secado de leña. También, en esta línea de acción se ha generado un informe titulado “Instrumentos de Fomento Productivo para Apoyar la Normativa Ambiental” el cual plantea que los pequeños productores de leña podrían ser potenciales beneficiarios de instrumentos de FOSIS y SERCOTEC, así como también, postular a instrumentos de financiamiento, productividad y transferencia tecnológica de CORFO e instituciones como CONAF, y además, considerando la atomización del mercado, las fallas de coordinación y falta de financiamiento para reducir las externalidades de la venta de leña húmeda se podrían utilizar instrumentos de coordinación de CORFO como los PROFOS, Nodos para la competitividad, Innovación social y emprendimiento social. Los recursos involucrados por parte del Estado en la región de La Araucanía han superado los 500 millones de pesos en un total de 73 proyectos (SICAM-Ingeniería, 2016). No obstante, el número de oferentes beneficiados aún es bajo relativo a todos los oferentes informales.

Por el contrario, el mercado del pellet existe una alta formalización debido a que el producto es fabricado por empresas que tratan de rentabilizar desechos de la industria de aserrío y madera. A pesar de lo anterior, el mercado no está consolidado porque aún la demanda doméstica es incipiente, pero debería incrementarse en el futuro a partir de los diferentes programas de recambio impulsados a través de los distintos PDA del centro - sur del país.

4.3 ANÁLISIS DE LA VALIDEZ DE LOS SUPUESTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEDIDAS DEL PDA ENFOCADAS AL SECTOR RESIDENCIAL

El AGIES del PDA de Temuco y Padre Las Casas realizado por MMA (2014) determinó el aporte de cada medida a partir de una serie de supuestos sobre el comportamiento de las fuentes reguladas y parámetros técnicos. En el caso del mejoramiento térmico de las viviendas se asume una disminución en la demanda energética que permite reducir en 30% la utilización de leña, este potencial de reducción fue estimado por MINVU (2007). Para el recambio de calefactores se asume que el equipo nuevo cumple con la nueva norma de emisión. Finalmente, en el caso de leña seca se asume un alto porcentaje de cumplimiento de la normativa (45% al año 2015 y 80% al año 2020). Con estos supuestos se concluye que la zona podría salir de la saturación por norma diaria de MP_{2,5} en el año 2024 y en el caso de la norma anual, se llegaría a niveles por debajo de 20 µg/m³ en el año 2018. Sin embargo, GreenLabUC (2013) basado en un análisis ex – ante recalca la importancia de la implementación del programa de mejoramiento térmico, basado en que el programa de recambio de calefactores por sí solo no contribuye en demasía a la reducción de emisiones de MP_{2,5} si la vivienda no cuenta con la aislación térmica adecuada⁹.

A continuación se discute de forma detallada la validez de los supuestos claves para cada una de las medidas orientadas al sector residencial que fueron evaluadas en el AGIES.

4.3.1 NORMA DE EMISION DE CALEFACTORES A LEÑA (LÍNEA BASE)

Esta medida considera una emisión de MP equivalente a 2,5 gr/h para artefactos con potencia menor o igual a 8 kW, 3,5 gr/h para artefactos con potencia mayor a 8 kW y menor a 14 kW, y 4,5 gr/h para artefactos con potencia mayor a 14 kW.

Lo anterior, asume que el calefactor se opera en condiciones óptimas, pero los equipos de fabricación nacional pueden ser manipulados para variar la entrada de aire, por otra parte la leña usualmente no se dispone u ordena en la forma requerida en las condiciones de laboratorio, y además, implica el uso de leña con bajo contenido de humedad aunque en la zona el 90% de la leña no está certificada. Este último elemento fue considerado en el

⁹ Sin embargo, esta conclusión es completamente refutada en la evaluación ex – post de este programa realizada en el presente informe, lo cual demuestra la importancia de validar los supuestos en las evaluaciones ex – ante.

AGIES al establecer factores de emisión más altos para la leña semi - húmeda (1,6 veces) y leña húmeda (2,15 veces), así como también, al establecer escenarios de participación de leña seca, semi - húmeda y húmeda que son variables a través del tiempo. No obstante, existe una duda razonable sobre si los supuestos considerados sobre la participación de la leña según contenido de humedad para el horizonte de evaluación serán relativamente cercanos a la realidad. Lo anterior, considerando que los resultados de las fiscalizaciones realizadas el año 2013 mostraron que un 77% de los puntos de ventas comercializaban leña húmeda, y el mismo año se detectó que un 40,9% de los hogares utilizaban leña húmeda (SEREMI del MMA de la Región de la Araucanía, 2014).

De acuerdo a los resultados de ensayos de más de 50 diferentes tipos de calefactores Farías & Salgado (2013) demuestran la dificultad de cumplir con la normativa ambiental utilizando los artefactos a leña disponibles en el mercado nacional, y al contrario, concluyen que los artefactos a pellets destacan por la elevada eficiencia y bajos niveles de material particulado.

Todo lo anterior, implica que el potencial de reducción estimado ex - ante para los nuevos calefactores a leña certificados solo podría ser considerado una cota máxima optimista de la verdadera reducción.

4.3.2 COMERCIALIZACIÓN Y USO DE LEÑA SECA (LÍNEA BASE)

Esta medida se sustenta en el cumplimiento de la norma NCh 2907/2005 que establece la comercialización de leña con un contenido de humedad menor o igual a 25% en base seca, y además, se prohíbe el uso domiciliario de leña que no cumpla con el contenido de humedad establecido. El cumplimiento estricto de esta normativa es muy importante ya que Farías & Salgado (2013) muestran la influencia de la humedad y especie de leña en las emisiones de material particulado para un calefactor a leña con templador comercializado en el mercado nacional que opera a baja tasa de quemado. Por ejemplo, para el caso de combustión de eucalipto con 20% de humedad, el calefactor emite 5g/h de material particulado, mientras que un eucalipto con un 40% de humedad emite hasta 40g/h.

En las proyecciones del AGIES se asume que el porcentaje de utilización de leña seca pasaría desde un 45% hasta un 80% al año 2020. De acuerdo a estudios previos la mayoría del comercio en la zona es realizado de forma informal, mientras la leña certificada solo abastecería a aproximadamente un 14% del mercado. No obstante, existen comerciantes formales no certificados que durante el año mantienen stocks de leña seca y hogares que adelantan sus compras en el verano para secar la leña antes de utilizarla en invierno, lo cual facilitaría el cumplimiento de este supuesto. Un estudio de COCEL (citado por SICAM-Ingeniería, 2016) afirma que existen aproximadamente 730 empresas proveedoras de leña en la zona y solo 15 de ellas estarían certificadas (y otras seis en proceso de certificación), estas últimas venden un total de 50 mil m³ de leña al año¹⁰. Además, la Municipalidad de

¹⁰ http://www.umayortemuco.cl/territoriomayor/wp-content/uploads/2013/11/03_O_11.pdf

Padre Las Casas luego de realizar una fiscalización a puntos de venta encontró que un 77,9% de la muestras excedieron el contenido de humedad establecido en la norma.

Otro supuesto clave es que la fiscalización induce el cumplimiento de la normativa, pero los reportes de fiscalización de la autoridad permiten concluir que solo se fiscalizó por día a un 0,1% de los vendedores (ver indicador calculado en Tabla 7).

También, se asume que los programas de certificación o secado serán utilizados por los productores o comercializadores, pero eso involucra para ellos un costo de oportunidad de secar la leña, formalización de actividades, pago de patentes, pago de impuestos y normas laborales, reduciendo drásticamente la rentabilidad del negocio lo cual previsiblemente induciría al no cumplimiento tal como ocurre en la actualidad. En este sentido solo 77 productores han participado en algún programa para mejorar la calidad de la leña, lo cual representa a un 10,5% de los oferentes.

Adicionalmente, se asume que se inducirá a los hogares a comprar leña en el mercado formal, pero esto llevaría muy posiblemente a pagar un mayor precio que no todos los hogares podrían estar dispuestos a desembolsar, y por otra parte, es difícil imaginar que se pueda fiscalizar fácilmente a hogares que infrinjan la regulación. Los datos revelan esta situación ya que el año 2013 del total de viviendas fiscalizadas un 40,9% utilizaba leña húmeda (SEREMI del MMA de la Región de la Araucanía, 2014).

De acuerdo a la SEREMI del MMA Región de La Araucanía (2013) los fiscalizadores constatan que es necesaria más educación al consumidor, debido a que persisten las malas prácticas en la compra, almacenamiento deficiente, no se reconoce la leña seca, y también, se menciona que la fiscalización domiciliaria es complicada puesto que es absolutamente voluntaria, ya que se apela a la disposición de las personas para concretarla. En consecuencia, existe una considerable cantidad de visitas en que no se puede realizar la actividad fiscalizadora, por ejemplo debido a que el dueño(a) de casa se niega, la asesora del hogar no autoriza la actividad, o bien hay ausencia de adultos en el domicilio. Finalmente, el mismo informe señala que es necesaria una mayor fiscalización al comercio de leña tanto formal como informal. Pero de acuerdo a las cifras reportadas por la SEREMI, se puede concluir que esto no se ha traducido en un incremento significativo en el número de fiscalizaciones, salvo en el caso de los hogares durante la Gestión de Episodios Críticos (GEC).

A pesar de las cifras anteriores en el presente estudio se determinó que el 81% de los hogares encuestados afirman consumir leña seca, lo cual permitiría validar el supuesto incorporado en el AGIES (ver Figura 60).

4.3.3 PROHIBICIÓN GRADUAL DE CALEFACTORES

Esta medida prohíbe el uso de salamandras o estufas de cámara simple dentro del límite urbano de la zona saturada luego de 3 años de publicado el PDA, y además, prohíbe el uso de cualquier artefacto que no cumpla con la norma de calefactores a partir del año 2020. Se

asume un cumplimiento del 80%, lo cual implicaría que el regulador y fiscalizador podrán identificar los hogares que utilicen estos equipos prohibidos.

Los datos muestran que la prohibición de chimeneas ha tenido un altísimo grado de cumplimiento, ya que en las fiscalizaciones a hogares solo se ha detectado un 1% de hogares que infringen la norma. Lo anterior, se puede explicar porque es bastante sencillo identificar desde el exterior la utilización de este tipo de calefactores. Sin embargo, vale la pena cuestionarse si lo mismo sucederá con artefactos de cámara simple, salamandras o los que no cumplen la norma al año 2020, ya que no es claro cómo será posible identificarlos desde el exterior de la vivienda, considerando que los tubos son similares para estufas a leña con o sin certificación, ni tampoco cómo se logrará entrar al hogar a fiscalizar en el momento en que se sorprenda el calefactor encendido sin la autorización del dueño de casa o bien sin orden judicial. A esto se agrega la baja capacidad de fiscalización considerando el número total de hogares susceptibles de regulación. Por ejemplo, según la SEREMI del MMA región de La Araucanía (2014) el año 2013 se fiscalizaron 308 viviendas de un total de más de 80 mil que utilizan calefactores a leña, y en el caso de episodios críticos se realizaron 2.889 fiscalizaciones, número de fiscalizaciones que deberían ser ponderadas por el número de días y hogares sujetos a prohibición.

4.3.4 RECAMBIO DE CALEFACTORES

Esta medida considera el recambio de 27 mil equipos existentes (calefactores y cocinas) en cinco años (2015-2019). En este caso es fácil chequear el cumplimiento y/o grado de avance de la medida, ya que se puede revisar el número de hogares que efectivamente han participado en los programas de recambio voluntario.

Estudios internacionales avalan la efectividad de estos programas. Debido a la alta utilización de estufas no certificadas de combustión de leña como método de calefacción en los hogares de Canadá, Allen, Leckie, Millar, & Brauer (2009) realizaron un estudio desde noviembre de 2007 hasta abril de 2008 con el fin de comparar el $MP_{2,5}$ del aire al interior y exterior de hogares, antes y después de reemplazar estas estufas por equipos certificados. Para lo anterior, se seleccionaron 15 hogares participantes en un programa de recambio de estufas, en los cuales se monitoreó la calidad del aire durante seis días anteriores y posteriores al cambio del equipo. Como resultado, se obtuvo que el cambio de estufa no tuvo una mayor incidencia en la concentración de $MP_{2,5}$ al interior de los hogares, pero que existió una disminución significativa de este contaminante en el exterior. Edwards, Smith, Zhang & Yuqing (2004) examinan las implicaciones de programas de recambio de calefactores en China, luego de comparar las emisiones de 28 estufas de diferentes tecnologías determinan que existe un amplio rango de factores de emisión, y además, afirman que estos programas ofrecen un mecanismo efectivo para cumplir metas de reducción de emisiones en el corto plazo. Yap & Garcia (2015) estudian el efecto del recambio para la zona de San Joaquin Valley, California, afirmando que es posible reducir un 12% la contaminación de $MP_{2,5}$ y un 8% de MP_{10} . Tran & Mölders (2012) simulan el cambio de estufas a leña no certificadas por otras con certificación de emisiones de $MP_{2,5}$, en la región de Fairbanks, Alaska. Dicho análisis contempló el recambio de 2.930 estufas

sin certificación y 90 calderas ubicadas al aire libre, según los autores este tipo de programa conllevaría una disminución de 6% en las concentraciones diarias promedio de $MP_{2,5}$. Bergauff, Ward, Noonan & Palmer (2009) analizaron los resultados obtenidos de un programa de recambio de 1.200 equipos de calefacción a leña que no cumplían con la norma ambiental, por unidades certificadas en la ciudad de Libby, Montana. En el estudio se realizaron diferentes mediciones antes y después del recambio cada seis días entre los años 2004 y 2008, las cuales mostraron una disminución de 71% en las concentraciones de $MP_{2,5}$ al interior de los hogares y una disminución de un 20% en la concentración exterior de este contaminante. Finalmente, Grieshop, Marshall & Kandlika (2011) afirman que los programas de recambio de cocinas requieren la incorporación de factores locales tales como mercados, subsidios, aspectos culturales, entre otros para poder evaluar estos programas, puesto que de ser mal diseñados o implementados pueden empeorar inadvertidamente un problema al tratar de solucionar el otro.

En el caso de estudios realizados en Chile se puede mencionar a Gómez, Salgado, Vasquez, & Chávez (2014) quienes estiman la probabilidad de adopción y voluntad de asumir parte del costo para el recambio de estufas en los hogares utilizando métodos de preferencias declaradas. Los resultados sugieren que los hogares están dispuestos a participar de forma voluntaria en programas de recambio pagando una parte del costo total de adoptar una estufa más eficiente, siendo los atributos de las estufas existentes y nuevas los factores más relevantes en la decisión de participación y pago, incluso más que el precio del nuevo calefactor. Además, afirman que las restricciones de crédito para las familias de escasos recursos generan una importante barrera para la implementación de este tipo de programas. Por lo cual, las variaciones en el diseño de la subvención y limitaciones del regulador pueden tener un impacto significativo en los costos y la reducción de las emisiones logradas por estos programas. Gómez, Yep, & Chávez (2013) simulan el efecto de un subsidio a hogares, que incentiva el recambio de equipos de combustión a leña más eficientes, sus resultados muestran que los hogares de menores ingresos responden positivamente al recambio de sus equipos ante bajos subsidios, mientras que los hogares de ingresos altos requieren un mayor porcentaje de subsidio para acceder al programa, ya que en este último caso solo se les ofrece la opción de cambiarse a estufas a pellets que son más costosas.. Sin embargo, la reducción de emisiones de estos últimos hogares es significativa, por lo cual deberían ser incluidos dentro de las políticas ambientales. Mardones & Sanhueza (2015) demuestran que el recambio de calefactores es una alternativa altamente deseable en términos ambientales y económicos, ya sea desde el punto de vista de los propios hogares, programas públicos de recambio o como mecanismo de compensación de emisiones del sector industrial. En esta misma línea de investigación, Mardones & Saavedra (2016) demuestran que el recambio debería ser preferentemente realizado con equipos a pellets, y como segunda alternativa, equipos a leña que efectivamente cumplan con la nueva norma de emisiones.

Sin embargo, en el caso de las estufas a leña certificadas la efectividad depende de que se cumplan los supuestos sobre el uso de leña seca y sus factores de emisión, pero tal como se demostrará en los resultados de la evaluación ex – post del programa de recambio de calefactores los supuestos sobre mayor eficiencia en el consumo de leña parecieran no

cumplirse. Por el contrario, es muy fácil estimar el impacto sobre la reducción de emisiones cuando el recambio es a otro tipo de combustible como pellet, gas o parafina, ya que al ser combustibles que poseen una calidad uniforme se reduce considerablemente la incertidumbre sobre su eficiencia y factores de emisión. Por lo anterior, para mejorar la efectividad de esta medida se sugiere que los programas de recambio prioricen este tipo de calefactores.

Según datos de la SEREMI del MMA de la región de la Araucanía, hasta el año 2015 solo se habían recambiado 2.261 calefactores. Los datos más recientes proporcionados por el MMA muestran que en las comunas de Temuco y Padre Las Casas han sido beneficiados 2.888 hogares entre los años 2015 y 2016.

4.3.5 SUBSIDIO DE AISLACIÓN TÉRMICA DE VIVIENDAS EXISTENTES

Esta medida considera la entrega de al menos 40 mil subsidios para acondicionamiento térmico de las viviendas en 10 años. Aunque es fácilmente observable el cumplimiento de la entrega de los subsidios, el supuesto crítico es que la reducción estimada en el AGIES es similar a la reducción efectiva en cada hogar. En el AGIES se calculó la demanda energética de las viviendas considerando las tipologías de viviendas descritas en MINVU (2007), las características de aislación según las normativas existentes durante el año de construcción y los grados días de la zona. Así, se estimó una reducción potencial para cada hogar que varía entre 8% y 48%. Sin embargo, de acuerdo a diversos estudios que se citan a continuación la reducción simulada de la aislación puede ser bastante diferente de la reducción real, lo cual se asocia principalmente al comportamiento humano.

A nivel internacional Kolaitis *et al.* (2013) estudian los requerimientos energéticos luego de implementar aislamiento térmico tanto externo como interno, demostrando que ambos tipos de aislación permiten reducir significativamente los requerimientos totales de energía (el aislamiento externo proporciona un mayor ahorro de energía promedio cercano al 8%, mientras el aislamiento térmico interior requiere una menor inversión). En el caso de Chile los resultados son diversos. Bustamante, Cepeda, Martínez, & Santa María (2009) encuentran que un aumento entre 40 UF y 60 UF en el monto destinado a la construcción de las viviendas sociales implicaría un significativo impacto en el uso eficiente de la energía de calefacción. Escorcía, García, Trebilcock, Celis, & Bruscatto (2012) utilizan técnicas exploratorias y descriptivas, entrevistas a profesionales y usuarios, simulación por medio del *software* Ecotec y modelos predictivos de la evaluación del consumo de energía que depende de grados-días anuales de la zona climática y características de la vivienda, como volumen de transmitancia y volumen de la vivienda. Sus resultados demuestran que es posible alcanzar reducciones estimadas en la demanda de energía entre 20% a 50%, dependiendo de los mejoramientos de aislación aplicados y de las características de las envolventes. Schueftan & González (2013) realizaron simulaciones para obtener la reducción del consumo de energía en un escenario de reacondicionamiento comparando casas con diferentes eficiencias energéticas. Al aplicar los estándares requerido por la Norma 2007 a todas las viviendas construidas entre los años 2000 y 2007, estos autores encontraron que para edificaciones construidas con la Norma 2000 se reduciría en 62% el

consumo de leña, pero si se aplicaran normas extranjeras como ASHRAE 2005 se reduciría en 77% el consumo de leña, por lo cual concluyen que los requisitos de la actual norma chilena posee un nivel relativamente bajo de exigencia en comparación a las normas extranjeras. Schueftan & González (2015) por medio del análisis de datos de viviendas en Valdivia y factores de emisión de estudios experimentales ordenados por el Ministerio de Medio Ambiente de Nueva Zelanda, concluyen que la mejora de aislamiento térmico reduce las emisiones entre un 48% y 54%, lo cual es mucho mayor que lo que se podría alcanzar con la renovación de calefactores y el uso de leña seca. García & Campos (2015) realizan simulaciones computacionales a viviendas de Concepción Metropolitano que les permite establecer que existen paquetes de reacondicionamiento térmico que reducirían la demanda energética entre 35% y 65% con un costo entre 3% y 14% del valor de la vivienda. Fierro & Muñoz (2015) estudian los tres tipos de casas más comunes en la provincia de Concepción, concluyendo que el mejoramiento de la resistencia térmica en muros aplicados en el interior resulta más eficiente energéticamente que ejecutarlo por el exterior de la edificación, y además, para los tres tipos de casas se logra una disminución en los costos de calefacción. Sin embargo, en la vivienda más sencilla los costos incurridos en lograr el aislamiento térmico superan el valor del Subsidio para el Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas. Schueftan, Sommerhoff & González (2016) afirman que el reacondicionamiento térmico tiene un enorme potencial para reducir el consumo de leña para calefaccionar las viviendas y así disminuir la contaminación en Chile, lo cual se puede explicar porque la demanda energética se ve fuertemente afectada por la infiltración. Vasco, Muñoz, Pino, Aguilera & García (2017) entregan una evaluación del rendimiento envolvente térmico de las viviendas sociales bajo diferentes condiciones climáticas en Chile, para analizar los diversos climas se dividió al país en siete zonas de norte a sur, donde lo predominante era la información meteorológica disponible. Los resultados mediante el *software* EnergyPlus determinaron que existía una variación de 10% a 20% en los materiales utilizados para la aislación térmica de las casas sociales, además, los resultados permitieron encontrar que las viviendas ubicadas en las zonas más calientes eran propensas a tener temperaturas más altas respecto a la zona de confort, y que las recomendaciones de la reglamentación térmica en Chile¹¹ eran más eficaces en las zonas más frías, es decir, zona térmica seis (Puerto Montt) y zona térmica siete (Punta Arenas).

Sin embargo, si se analizan detalladamente los resultados del estudio IIT-UdeC (2012) que analiza una muestra de 40 hogares con y sin aislación en Talca se puede observar que a pesar que se obtiene una reducción promedio del 28%, existe una alta variabilidad en los requerimientos energéticos de viviendas con y sin aislación (la cual es atribuida al comportamiento humano como apertura de puertas, personas que habitan el hogar, entre otras), así la alta desviación estándar no permite demostrar que la reducción sea significativamente distinta de cero en términos estadísticos. En este mismo sentido Fissore & Colonelli (2013) evalúan el programa de recambio de reacondicionamiento térmico

¹¹ La reglamentación térmica establece las condiciones mínimas de aislación térmica para las viviendas nuevas, forma parte de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) e incluye los estándares mínimos de aislamiento según la zonificación térmica publicada en el “Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica” que distingue siete zonas térmicas en el país.

impulsado en Chile, para lo cual utilizan una muestra de 75 viviendas intervenidas por el programa de reacondicionamiento térmico para el periodo 2009 y 2010 entre las regiones del Maule y Aysén, estimando un ahorro efectivo de energía del 28% con una desviación estándar de 19%, por lo cual tampoco se puede rechazar que el efecto de la aislación sea estadísticamente diferente de cero. En el caso específico de Temuco y Padre Las Casas un estudio de Cardenas, Araneda & Beaumont (2014) levantó encuestas a hogares, mediciones in situ de temperatura interior, mediciones de infiltración de aire y termografía infrarroja. Con estos datos evalúan la disminución en la demanda de energía en cada vivienda mediante el *software* de simulación *Design Builder*. La muestra de 27 viviendas correspondió a un grupo que experimentó mejoras térmicas con un reacondicionamiento térmico entre 50 UF y 80 UF. Los resultados del estudio muestran que la demanda de energía antes y después del reacondicionamiento térmico se redujo 28,5%, y 24,5% si no se considera infiltración. No obstante, se debe destacar que al igual que en los casos anteriores aunque el estudio no lo menciona, la desviación estándar es tan alta que no permite concluir que existe una reducción estadísticamente significativa.

En el caso específico de la zona de Temuco y Padre Las Casas se desarrolló el estudio “Comportamiento Térmico y Demanda Energética de Viviendas Beneficiarias del PPPF, equipadas con calefactores ecológicos”, el cual analizó 3 viviendas, con el objetivo de calcular su demanda energética y estimar la disminución de emisiones de material particulado en viviendas con sistema de aislación y calefacción eficientes. Los resultados muestran que los calefactores nacionales analizados cumplen con la norma, y que incluso si se incorpora un filtro se podrían reducir las emisiones en 60%. A pesar de lo anterior, hay que tener claro que el tamaño de muestra no permite sacar conclusiones válidas en términos estadísticos, y además, el estudio confirma que el confort térmico de la vivienda depende no solo de la aislación y potencia del calefactor, sino que también del comportamiento del usuario respecto a la carga de combustible y la forma de operar el calefactor.

Por otra parte, los estudios también muestran que las temperaturas en el hogar tienden a ser más bajas que el nivel de confort térmico de 20 °C. Por ejemplo, en la zona central del país se consume menos del 20% del combustible requerido para estar en confort (Méndez *et al.*, 2015). Por lo anterior, no es claro que con mayor aislación se reduzca completamente el consumo de leña ya que los hogares podrían decidir elevar su confort térmico realizando el mismo gasto previo en este combustible. En este sentido, Schueftan & González (2013) afirman que existe una clara relación entre el nivel de ingresos y el consumo de leña, debido a que a mayores ingresos las personas tienen hogares más grandes y buscan un mayor estándar de confort.

Además, Fissore & Colonelli (2013) afirman que aplicar el subsidio en viviendas con ampliaciones no regularizadas impide que se logre el máximo beneficio de ahorro energético (40% a 50%), pues no se contempla el reacondicionamiento de la casa completa. Además, Démurger & Fournier (2011) demostraron que en China existe una relación inversa entre el tamaño del hogar y el consumo de leña, y además, que cuando aumenta el número de miembros en un hogar, la demanda de energía también aumenta.

Según datos de la SEREMI DEL MMA Región de La Araucanía (2015), hasta el año 2015 se habían entregado 10.268 subsidios, pero los informes previos del mismo organismo (SEREMI del MMA Región de La Araucanía, 2014; SEREMI del MMA Región de La Araucanía, 2013; SEREMI del MMA Región de La Araucanía, 2012; SEREMI del MMA Región de La Araucanía, 2011) revelan que el número de subsidios ejecutados es bastante inferior al número de subsidios entregados.

4.3.6 AISLACIÓN TÉRMICA DE VIVIENDAS NUEVAS

Esta medida implica acreditar el cumplimiento de estándares más altos para las nuevas viviendas construidas en la zona saturada. Según Hernández & Meza (2011) una característica común de la certificación de viviendas es la utilización de programas informáticos de simulación que permitan determinar las demandas energéticas bajo diferentes escenarios, para ello se utilizan datos de entrada que incluyen el diseño de la vivienda, datos climáticos, parámetros de confort, entre otros. Así, es posible obtener el impacto directo en la reducción de los requerimientos energéticos de las viviendas nuevas con los estándares más exigentes de aislación. En este sentido, de acuerdo a la Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social¹² existen diversas estrategias de diseño para mejorar el desempeño energético de las viviendas en las diferentes zonas climáticas de Chile. Sin embargo, al igual que el caso de la aislación térmica de viviendas existentes el potencial real de reducción energética puede ser diferente a la reducción potencial basada en los modelos de simulación. Lo anterior, se explica porque el comportamiento humano puede afectar significativamente el consumo energético para calefacción en las viviendas, y también, por el hecho de que las familias podrían decidir no reducir sustancialmente el consumo energético, con el fin de elevar la temperatura al nivel de confort térmico, manteniendo así un relativamente similar nivel de gasto en leña (esto se confirma con los resultados de la evaluación ex – post del programa de aislamiento térmico realizado en este informe). Así, se concluye que el potencial de reducción efectivo de la aislación térmica de viviendas nuevas podría ser diferente a las estimaciones ex - ante utilizadas en el AGIES, en cuya elaboración se afirma que la aislación térmica tanto de viviendas nuevas como existentes podrían contribuir a una reducción de un 29% en el PDA, y además, que pertenece al grupo de medidas más costo - efectivas (MMA, 2014).

4.3.7 MEDIDAS PARA EL SECTOR RESIDENCIAL EN GESTIÓN DE EPISODIOS CRÍTICOS

Se asume que habrá un 90% de cumplimiento durante los episodios críticos en los cuales se restringe la operación de calefactores a leña entre 18:00 y 06:00 hasta el año 2019 y a partir del año 2020 la prohibición será durante las 24 horas. En este caso, la constatación

¹²

http://www.minvu.cl/incjs/download.aspx?gls_cod_nodo=20070402125030&hdd_nom_archivo=Gu%C3%A1a%20de%20dise%C3%B1o%20para%20la%20Eficiencia%20Energ%C3%A9tica%20en%20la%20vivienda%20social.pdf

del cumplimiento e impacto en la reducción de emisiones no reviste mayor complejidad. Sin embargo, es más difícil determinar los requerimientos de fiscalización necesarios para inducir el cumplimiento esperado, y además, habría que identificar el porcentaje de acierto de episodios críticos del modelo predictivo. De acuerdo a datos de la SEREMI del MMA de la región de La Araucanía durante episodios críticos se han realizado fiscalizaciones a hogares que revelan que existe un 12,4% de incumplimiento, así que el supuesto de la evaluación ex – ante pareciera ser bastante acertado y revela el compromiso de los hogares con la restricción. Estos antecedentes son confirmados con los resultados obtenidos en la evaluación ex – post del programa de gestión de episodios críticos desarrollado en este informe.

4.3.8 SÍNTESIS Y ANÁLISIS DE LA VALIDEZ DE SUPUESTOS DE LA EVALUACIÓN EX - ANTE

A partir del análisis de los supuestos críticos para cada una de las medidas del sector residencial se puede concluir que existe bastante incertidumbre en el cumplimiento de la reducción de emisiones asociada al recambio de calefactores (solo en el caso de equipos a leña certificados), comercialización o uso de leña seca, y aislamiento térmico de viviendas.

En el caso del recambio de calefactores la incertidumbre se asocia a los factores de emisión de los equipos ya que las condiciones controladas de laboratorio para el uso de calefactores podrían ser muy distintas a la operación real del equipo por el ordenamiento y humedad de la leña utilizada, así como también, por la regulación de la entrada de aire. En el caso de la comercialización o uso de leña seca la incertidumbre se asocia a la verdadera capacidad institucional fiscalizadora y sancionatoria para reducir la comercialización y uso de leña húmeda. Finalmente, en el caso de la aislación térmica de viviendas nuevas o existentes la incertidumbre se asocia a que las reducciones teóricas generadas a través de los programas de simulación podrían desviarse bastante de las reducciones reales, ya que diversos estudios muestran que aunque existe una reducción promedio del requerimiento energético, no es posible afirmar que sea una reducción estadísticamente distinta de cero.

Lo más preocupante es que las medidas anteriores son claves para alcanzar las metas propuestas en el PDA, ya que la evaluación ex – ante desarrollada en el AGIES estima que en conjunto podrían reducir hasta un 85% de las concentraciones. Por lo anterior, es muy importante desarrollar una evaluación ex – post que permita determinar la efectividad real de estas medidas ya que podría implicar una modificación sustancial de la asignación de recursos en los programas actualmente vigentes. En este sentido, los resultados de la evaluación ex – post del PDA como programa consolidado desarrollado en este informe respaldan las dudas sobre la efectividad proyectada de las medidas incorporadas en los instrumentos de gestión ambiental aplicados en la zona centro – sur de Chile.

4.4 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE IMPLEMENTACIÓN Y CUMPLIMIENTO DE LAS MEDIDAS ASOCIADAS A REDUCIR EMISIONES DEL SECTOR RESIDENCIAL

En la presente sección se analiza el grado de implementación y cumplimiento de las medidas para reducir la contaminación asociadas al sector residencial. Para ello, se establece una tabla resumen por cada medida en la cual se reportan las acciones ejecutadas en términos históricos para dar cumplimiento a este objetivo. El grado de cumplimiento se clasifica como cumplimiento total, cumplimiento parcial y sin cumplimiento de acuerdo al periodo en el cual debería haberse ejecutado la medida, y además, justificando esta clasificación.

La Tabla 1 muestra que la mayoría de las acciones anuales desarrolladas en el marco de la implementación y cumplimiento de medidas asociadas al recambio de calefactores presentan un grado de cumplimiento parcial, debido a que se han asignado a menos beneficiarios que los comprometidos. La única acción que tiene cumplimiento total fue el estudio para el diseño del programa de recambio de calefactores. Específicamente, para la medida asociada al recambio de calefactores se observa que la primera acción ejecutada correspondió al diseño del programa el cual fue realizado el año 2011 en el cual se planificó un recambio piloto. A fines de ese mismo año comienza la primera etapa del programa de recambio, en los años siguientes continúan las postulaciones y entrega de subsidios a los beneficiarios. Sin embargo, el cumplimiento de estas acciones se considera parcial ya que el número de recambios es menor a la meta que se estableció para dicho periodo. También, se ejecutaron recambio de calefactores a instituciones públicas. Finalmente, cabe destacar que existe una falta de exactitud en los reportes anuales sobre la ejecución de estas acciones, ya que el número de recambios realizados varía para un mismo año. En consecuencia, se deberían mejorar diversos aspectos administrativos y de difusión del programa para incrementar su cumplimiento.

La Tabla 2 muestra que las acciones para el diseño de nuevas viviendas con mejor aislación tienen cumplimiento total. Aunque en los primeros años la ejecución de los subsidios de aislación de viviendas existentes tuvo un cumplimiento parcial, esto fue revertido a partir del año 2012. Específicamente, durante los años 2008 y 2009 comienza la entrega de subsidios de aislación aunque ninguno de ellos fue efectivamente ejecutado en ese periodo. En los años 2010 y 2011 se realiza una ejecución parcial de los subsidios asignados. Durante el mismo periodo se realiza capacitación a comités de viviendas y EGIES. Luego, en los años siguientes se comienza a entregar un número mayor de subsidios, generándose un pleno cumplimiento de la meta establecida para dicho periodo. No obstante, en los reportes anuales se afirman cantidades de subsidios asignados que difieren del número señalado en el reporte más reciente. También, durante el año 2012 y 2013 comienza la ejecución de un programa piloto para mejorar la eficiencia en las viviendas nuevas. A partir de estos antecedentes se concluye que las acciones ejecutadas han alcanzado el nivel de cumplimiento requerido.

La Tabla 3 muestra que la mayoría de las acciones concretas para la comercialización y uso de leña seca tiene cumplimiento parcial, por la falta de fiscalización suficiente para inducir el cumplimiento establecido en los supuestos del AGIES del PDA. Por el lado positivo, existe cumplimiento total de la difusión que desarrolla el SERNAC sobre los puntos de venta con leña seca. Además, la medida de comercialización y uso de leña seca

es aquella en la cual se han ejecutado mayor diversidad de acciones. Específicamente, el año 2010 comienza el apoyo de CORFO a los productores de leña a través de financiamiento y capacitación, ese mismo año empieza el registro y declaración de tenencia de calefactores en las viviendas, se inicia la fiscalización en puntos de venta, y además, el SERNAC realiza los primeros reportes y difusión sobre los lugares de venta de leña seca. En los años siguientes continuaron ejecutándose estas mismas acciones pero solo la difusión realizada por el SERNAC tuvo un cumplimiento total, el resto de las acciones solo se pueden considerar parcialmente ejecutadas por la falta de mayores recursos para el apoyo y la fiscalización a los oferentes de leña, y también, por la falta de motivación en los hogares para la declaración de sus equipos. Además, comienza la fiscalización a hogares constándose un alto porcentaje de utilización de leña húmeda. En el año 2012 SERCOTEC se une a CORFO para promover la producción y comercio de leña seca, y continúan las acciones de fiscalización, registro de calefactores y difusión de puntos de venta de leña seca. En los años siguientes se siguen ejecutando las mismas acciones pero los escasos niveles de fiscalización a productores y hogares respecto al universo de unidades fiscalizables se transforma en una barrera significativa para su efectividad. Finalmente, en el año 2015 se implementan dos secadores de leña, pero solo puede ser considerada una experiencia piloto dado que su capacidad es muy limitada respecto al total de leña comercializada en la zona. A partir de todos estos antecedentes se puede concluir que se requieren fortalecer las acciones y recursos para mejorar el nivel de cumplimiento requerido.

La Tabla 4 muestra que las diferentes acciones asociadas a la educación de la ciudadanía han tenido pleno cumplimiento. Específicamente, el año 2010 comienza la generación de material de folletería, avisos radiales y spots televisivos. En el año 2011 se envía material informativo a través de las cuentas de la luz. Estas acciones fueron complementadas con reportes y difusión realizadas por el SERNAC. Así, se puede concluir que esta medida ha tenido un cumplimiento total en sus diferentes dimensiones.

La Tabla 5 muestra que las acciones asociadas a la prohibición de chimeneas han tenido pleno cumplimiento. Específicamente, en diciembre del año 2010 comienza la prohibición del uso de chimeneas. Las acciones de fiscalización realizadas en los hogares que poseen este tipo de calefacción muestran un altísimo cumplimiento (98,6%). En consecuencia, las acciones de concientización de la importancia sobre estos hogares han tenido un efecto muy positivo.

Finalmente, la Tabla 6 muestra que las acciones asociadas a la prohibición durante episodios críticos tienen un cumplimiento parcial, porque a pesar que la fiscalización se incrementa de forma significativa durante esos episodios existe un porcentaje de hogares que incumple la normativa, porcentaje superior al asumido en el AGIES del PDA. Específicamente, en 2010 comienzan los reportes de los pronósticos de calidad del aire. A partir del año 2012 se realizan fiscalización a viviendas durante episodios críticos. En 2014 se inician sumarios a un 12% de hogares por incumplimiento de la normativa.

Tabla 1. Implementación y cumplimiento de medidas asociadas al recambio de calefactores

Medida	Acción ejecutada	Detalles de acción ejecutada	Mes inicial	Año inicial	Mes final	Año final	Temporalidad de efectos	Característica	Año Informe de Resultados PDA	Fuente	Cumplimiento
Recambio de calefactores	Diseño del programa	En el marco de un estudio realizado por la UDEC para el diseño del programa de recambio de calefactores se planifica un recambio piloto de 250 calefactores	S/I	2011	S/I	2011	Permanente	Cuantitativa	2010	SEREMI DEL MMA Región de La Araucanía (2011)	Cumplimiento total. Estudio para el diseño del recambio de calefactores
Recambio de calefactores	Entrega de subsidios	Programa de recambio de calefactores con 519 beneficiarios, pero sólo 270 artefactos recambiados a diciembre de 2011	Diciembre	2011	N/A	N/A	Permanente	Cuantitativa	2011	SEREMI DEL MMA Región de La Araucanía (2012)	Cumplimiento parcial. El número de recambios es inferior a la meta anual
Recambio de calefactores	Entrega de subsidios	Recambio de 100 estufas a leña GORE viviendas sociales, pero luego en el informe anual del PDA se menciona que solo se recambiaron 24 y que hay 16 en trámite.	Julio	2013	Diciembre	2013	Permanente	Cuantitativa	2013	SEREMI DEL MMA Región de La Araucanía (2014)	Cumplimiento parcial. El número de recambios es inferior a la meta anual
Recambio de calefactores	Entrega de subsidios	Recambio de 123 estufas a pellets para instituciones públicas. En el mismo informe luego se habla que a diciembre hay un recambio efectivo de 420 equipos a pellets	Octubre	2013	Diciembre	2013	Permanente	Cuantitativa	2013	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2014)	Cumplimiento total o parcial. No hay información sobre el total de equipos en instituciones públicas

Recambio de calefactores	Entrega de subsidios	Recambio de 349 estufas a leña de las 1870 comprometidas por problemas con la empresa SAME que se adjudicó inicialmente la licitación, y luego se readjudica a la empresa AMESTI	Octubre	2013	Diciembre	2013	Permanente	Cuantitativa	2013	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2014)	Cumplimiento parcial. El número de recambios es inferior a la meta anual
Recambio de calefactores	Seguimiento y registro de subsidios entregados	De acuerdo a los antecedentes reportados en último informe realizado por la SEREMI del MMA del año 2015 sobre las actividades desarrolladas en el marco del PDA se puede observar una contradicción evidente con los datos reportados en los informes previos. Específicamente, para el periodo 2011-2012 se afirma que hubieron 519 recambios a estufas a leña más eficientes, para el periodo 2012-2013 afirma que hubieron 445 recambios, para el periodo 2014-2015 afirma que hubieron 1158 recambios. Además, para el periodo 2012-2013 afirma que hubieron 601 recambios a pellets en instituciones. Finalmente, en Polígono Javiera Carrera afirma que se entregaron 137 estufas a pellets y 2 a leña financiados por el GORE-MINVU	S/I	2011	S/I	2015	Permanente	Cuantitativa	2015	SEREMI del MMA Región de La Araucanía (2015)	Cumplimiento parcial. El número de recambios es inferior a la meta anual

Fuente: Elaboración propia en base a Informes del PDA realizados por la SEREMI del MMA región de La Araucanía

Tabla 2. Implementación y cumplimiento de medidas asociadas a la aislación térmica de viviendas

Medida	Acción ejecutada	Detalles de acción ejecutada	Mes inicial	Año inicial	Mes final	Año final	Temporalidad de efectos	Característica	Año Informe de Resultados PDA	Fuente	Cumplimiento
Aislación térmica de viviendas	Entrega de subsidios	MINVU entrega 504 subsidios aislación pero ninguno es ejecutado	S/I	2008	S/I	2008	Permanente	Cuantitativa	2010	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2011)	No aplica. Dado que el PDA por MP ₁₀ aún no había sido promulgado
Aislación térmica de viviendas	Entrega de subsidios	MINVU entrega 2686 subsidios aislación pero ninguno es ejecutado (número de subsidios difiere respecto a informe del PDA del año 2010 que menciona 3258)	S/I	2009	S/I	2009	Permanente	Cuantitativa	2011	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2012)	No aplica. Dado que el PDA por MP ₁₀ aún no había sido promulgado
Aislación térmica de viviendas	Entrega de subsidios	MINVU entrega 1.102 subsidios aislación y solo 502 son ejecutados	S/I	2010	S/I	2010	Permanente	Cuantitativa	2011	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2012)	Cumplimiento parcial. Se cumple la meta de 1000 subsidios anuales pero no son todos ejecutados.
Aislación térmica de viviendas	Entrega de subsidios	MINVU entrega 1164 subsidios aislación y solo 400 son ejecutados	S/I	2011	S/I	2011	Permanente	Cuantitativa	2011	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2012)	Cumplimiento parcial. Se cumple la meta de 1000 subsidios anuales pero no son todos ejecutados.
Aislación térmica de viviendas	Entrega de subsidios	MINVU aprueba entrega de 3303 subsidios de aislación, pero no se menciona el número de	S/I	2012	S/I	2012	Permanente	Cuantitativa	2012	SEREMI del MMA región de La Araucanía	Cumplimiento total. Se cumple la meta de 1000 subsidios

		ejecutados								(2013)	anuales asumiendo que entre 40% y 50% son ejecutados tal como en años previos
Aislación térmica de viviendas	Entrega de subsidios	MINVU entrega 4201 subsidios aislación, pero no hay información sobre los ejecutados	S/I	2013	S/I	2013	Permanente	Cuantitativa	2013	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2014)	Cumplimiento total. Se cumple la meta de 1000 subsidios anuales asumiendo que entre 40% y 50% son ejecutados tal como en años previos
Aislación térmica de viviendas	Seguimiento y registro de subsidios entregados	Este informe contradice la mayoría de los datos previos. 2010 afirma 1510 subsidios, 2011 afirma 1658 subsidios, 2012 afirma 4201 subsidios, 2013 afirma 1465 subsidios, y 2014 afirma 1434 subsidios	S/I	2011	S/I	2015	Permanente	Cuantitativa	2015	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2015)	Cumplimiento parcial. Se cumple la meta de 1000 subsidios anuales a partir del año 2012
Aislación térmica de viviendas	Diseño de programa para viviendas nuevas	Proyecto de diseño de soluciones tecnológicas constructivas para mejorar las condiciones de habitabilidad de la Araucanía, mediante la industrialización de la madera nativa	Junio	2012	Junio	2014	Permanente	Cualitativa	2013	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2014)	Cumplimiento total
Aislación térmica de viviendas	Diseño de programa para viviendas nuevas	Programa Piloto Conjunto Habitacional con Eficiencia Energética, que entrega 17 viviendas	Septiembre	2012	Marzo	2013	Permanente	Cuantitativa	2013	SEREMI del MMA región de La Araucanía	Cumplimiento total

		sociales								(2014)	
Aislación térmica de viviendas	Capacitación y difusión	Capacitación a comités de viviendas y EGIS	Septiembre	2010	Septiembre	2010	Permanente	Cualitativa	2010	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2011)	Cumplimiento total

Fuente: Elaboración propia en base a Informes del PDA realizados por la SEREMI del MMA región de La Araucanía

Tabla 3. Implementación y cumplimiento de medidas asociadas a la comercialización y uso de leña seca

Medida	Acción ejecutada	Detalles de acción ejecutada	Mes inicial	Año Inicial	Mes final	Año final	Temporalidad de efectos	Característica	Año Informe de Resultados PDA	Fuente	Cumplimiento
Comercialización y uso de leña seca	Apoyo a productores	Apoyo de CORFO a 21 productores a través de capacitación y financiamiento	Agosto	2010	N/A	N/A	Permanente	Cuantitativa	2010	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2011)	Cumplimiento parcial. Es bajo el número de productores beneficiados respecto al total
Comercialización y uso de leña seca	Registro de calefactores	Comienza registro y declaraciones de tenencia de calefactores en viviendas con 48330 calefactores inscritos	Diciembre	2010	Diciembre	2011	Permanente	Cuantitativa	2011	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2012)	Cumplimiento parcial. Aún falta por inscribirse un porcentaje significativo de artefactos a leña
Comercialización y uso de leña seca	Fiscalización	Fiscalización de 70 puntos de venta de leña, cursándose un 60% de multas por venta de leña húmeda	Enero	2010	Septiembre	2010	Temporal	Cuantitativa	2010	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2011)	Cumplimiento parcial. Es bajo el nivel de fiscalización.
Comercialización y uso de leña seca	Apoyo a productores	Expo Leña 2010 feria en la cual se venden 2500 sacos de leña seca	Octubre	2010	Octubre	2010	Temporal	Cuantitativa	2010	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2011)	Cumplimiento parcial. Es bajo el volumen de leña seca comercializada en la zona.
Comercialización y uso de leña seca	Difusión	SERNAC realiza reporte mensual y difusión sobre lugares de venta de leña seca	S/I	2010	Diciembre	2010	Permanente	Cualitativa	2010	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2011)	Cumplimiento total
Comercialización y uso de leña	Fiscalización	Fiscalización piloto en dos puntos de venta de leña	Septiembre	2010	Septiembre	2010	Temporal	Cuantitativa	2010	SEREMI del MMA región de La	Cumplimiento parcial. Es bajo el nivel de

seca										Araucanía (2011)	fiscalización.
Comercialización y uso de leña seca	Registro de calefactores	Segundo llamado para registro y declaraciones de tenencia de calefactores en viviendas pero existe un número reducido de nuevas declaraciones de nuevos artefactos inscritos (total de 50276 calefactores inscritos)	Diciembre	2011	Septiembre	2012	Permanente	Cuantitativa	2012	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2013)	Cumplimiento parcial. Aún falta por inscribirse un porcentaje significativo de artefactos a leña
Comercialización y uso de leña seca	Difusión	SERNAC realiza reporte mensual y difusión sobre lugares de venta de leña seca	Enero	2011	Diciembre	2011	Permanente	Cualitativa	2011	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2012)	Cumplimiento total
Comercialización y uso de leña seca	Fiscalización	Fiscalización en carretera y puntos de venta de leña (8 enero, 10 febrero, 40 marzo, 20 abril, 47 mayo, 22 junio, 19 julio, 15 agosto, 15 septiembre, 19 octubre, 0 noviembre y 13 diciembre, en total 228)	Enero	2011	Diciembre	2011	Temporal	Cuantitativa	2011	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2012)	Cumplimiento parcial. Es bajo el nivel de fiscalización.
Comercialización y uso de leña seca	Apoyo a productores	Expo Leña 2011 feria en la cual se venden 5000 sacos de leña seca (el doble del año anterior)	Mayo	2011	Mayo	2011	Temporal	Cuantitativa	2011	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2012)	Cumplimiento parcial. Es bajo el volumen de leña seca comercializada en la zona.
Comercialización y uso de leña seca	Fiscalización	Fiscalización de 100 viviendas, en las cuales se constata que el 74% utiliza leña húmeda y 24% leña seca	S/I	2011	S/I	2011	Temporal	Cuantitativa	2011	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2012)	Cumplimiento parcial. Es bajo el nivel de fiscalización y alto el nivel de infracciones.
Comercialización y	Fiscalización	Fiscalización en carretera y puntos de venta de leña	S/I	2011	S/I	2011	Temporal	Cuantitativa	2011	SEREMI del MMA región	Cumplimiento parcial. Es bajo

uso de leña seca		(en total 235)									de La Araucanía (2012)	el nivel de fiscalización respecto al número de transacciones
Comercialización y uso de leña seca	Apoyo a hogares	Regalo de 1 m ³ de leña seca a 85 familias (85 m ³ en total)	S/I	2011	S/I	2011	Temporal	Cuantitativa	2011		SEREMI del MMA región de La Araucanía (2012)	Cumplimiento parcial. Es bajo el volumen de leña seca utilizada en la zona.
Comercialización y uso de leña seca	Apoyo a productores	Finaliza concurso de SERCOTEC para promover producción y comercio de leña seca que incluye a 7 beneficiarios	1er semestre	2012	N/A	N/A	Permanente	Cuantitativa	2012		SEREMI del MMA región de La Araucanía (2013)	Cumplimiento parcial. Es bajo el número de productores beneficiados respecto al total
Comercialización y uso de leña seca	Fiscalización	Fiscalización a 287 viviendas sobre uso leña seca, el 21,9% utiliza leña húmeda y se cursan 63 sumarios sanitarios que pueden finalizar en multas.	Abril	2012	Octubre	2012	Temporal	Cuantitativa	2012		SEREMI del MMA región de La Araucanía (2013)	Cumplimiento parcial. Es bajo el nivel de fiscalización y relativamente alto el nivel de infracciones.
Comercialización y uso de leña seca	Apoyo a productores	Apoyo de CORFO a 20 productores a través de capacitación y financiamiento	Abril	2012	N/A	N/A	Permanente	Cuantitativa	2011		SEREMI del MMA región de La Araucanía (2012)	Cumplimiento parcial. Es bajo el número de productores beneficiados respecto al total
Comercialización y uso de leña seca	Registro de calefactores	Tercer llamado para registro y declaraciones de tenencia de calefactores en viviendas pero existe un número reducido de nuevas declaraciones (total de 51538 calefactores inscritos)	Diciembre	2012	Noviembre	2013	Permanente	Cuantitativa	2013		SEREMI del MMA región de La Araucanía (2014)	Cumplimiento parcial. Aún falta por inscribirse un porcentaje significativo de artefactos a leña

Comercialización y uso de leña seca	Fiscalización	Testeo de humedad y precio en 60 leñerías formales	Enero	2012	Diciembre	2012	Temporal	Cuantitativa	2012	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2013)	Cumplimiento parcial. Es bajo el nivel de fiscalización
Comercialización y uso de leña seca	Difusión	SERNAC realiza reporte mensual y difusión sobre lugares de venta de leña seca	Enero	2012	Diciembre	2012	Permanente	Cualitativa	2012	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2013)	Cumplimiento total
Comercialización y uso de leña seca	Apoyo a productores	Proyecto asociativo PROFO para mejorar la calidad de la leña para 9 productores de leña llamado "Leñeros de Ñelol"	Enero	2012	N/A	N/A	Permanente	Cuantitativa	2012	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2013)	Cumplimiento parcial. Es bajo el número de productores beneficiados respecto al total
Comercialización y uso de leña seca	Fiscalización	Fiscalización en carretera y puntos de venta de leña (0 enero, 4 febrero, 39 marzo, 30 abril, 27 mayo, 15 junio, 6 julio, 14 agosto, 12 septiembre, 13 octubre, 34 noviembre y 0 diciembre, en total 194)	Febrero	2012	Noviembre	2012	Temporal	Cuantitativa	2012	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2013)	Cumplimiento parcial. Es bajo el nivel de fiscalización respecto al total de transacciones
Comercialización y uso de leña seca	Apoyo a productores	Comienza proyecto INNOVA de transferencia y desarrollo tecnológico para productores de leña	Mayo	2012	S/I	S/I	N/A	Cualitativa	2012	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2013)	Cumplimiento total.
Comercialización y uso de leña seca	Apoyo a productores	Inicio de concurso de SERCOTEC para promover producción y comercio de leña seca que incluye a 7 beneficiarios	S/I	2012	N/A	N/A	N/A	N/A	2011	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2012)	Cumplimiento parcial. Es bajo el número de productores beneficiados respecto al total
Comercialización y uso de leña seca	Fiscalización	Fiscalización a 90 comerciantes de leña y se cursan 8 multas	S/I	2012	S/I	2012	Temporal	Cuantitativa	2012	SEREMI del MMA región de La Araucanía	Cumplimiento parcial. Es bajo el nivel de fiscalización

										(2013)	respecto al total de transacciones, aunque se reduce el nivel de incumplimiento.
Comercialización y uso de leña seca	Fiscalización	Fiscalización a 308 viviendas, 40,9% usaba leña húmeda, 46,7% no había registrado su calefactor, 1% usaba chimenea.	S/I	2013	S/I	2013	Temporal	Cuantitativa	2013	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2014)	Cumplimiento parcial. Es bajo el nivel de fiscalización y relativamente alto el nivel de infracciones.
Comercialización y uso de leña seca	Fiscalización	Fiscalización con levantamiento de 102 actas despachadas a la SMA para eventual sanción	S/I	2013	S/I	2013	Temporal	Cuantitativa	2013	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2014)	Cumplimiento parcial. Es bajo el nivel de fiscalización.
Comercialización y uso de leña seca	Fiscalización	Fiscalización de 16 puntos de venta en Padre Las Casas concluyendo que un 77% de la leña excede el contenido de humedad de 25% en base seca. Despachadas a la SMA para eventual levantamiento de sanciones y multas	S/I	2013	S/I	2013	Temporal	Cuantitativa	2013	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2014)	Cumplimiento parcial. Es bajo el nivel de fiscalización y relativamente alto el nivel de infracciones
Comercialización y uso de leña seca	Fiscalización	Fiscalización con controles de transporte y centros de acopio en Temuco y Padre Las Casas (5 oct, 6 nov y 7 dic, en total 18)	S/I	2013	S/I	2013	Temporal	Cuantitativa	2013	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2014)	Cumplimiento parcial. Es bajo el nivel de fiscalización
Comercialización y uso de leña seca	Apoyo a productores	Continuación de proyecto con 8 productores para mejorar calidad de la leña llamado "Leñeros de	S/I	2013	S/I	2013	Permanente	Cuantitativa	2013	SEREMI del MMA región de La Araucanía	Cumplimiento parcial. Es bajo el número de productores

		Ñelol"								(2014)	beneficiados respecto al total
Comercialización y uso de leña seca	Apoyo a productores	Proyecto CORFO para 17 productores de leña	Enero	2014		2015	Permanente	Cuantitativa	2015	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2015)	Cumplimiento parcial. Es bajo el número de productores beneficiados respecto al total
Comercialización y uso de leña seca	Fiscalización	Fiscalización sobre uso de leña seca a 28 hogares y a 5 fuentes fijas	S/I	2014	S/I	2014	Temporal	Cuantitativa	2014	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2014)	Cumplimiento parcial. Es bajo el nivel de fiscalización
Comercialización y uso de leña seca	Registro de calefactores	Cuarto llamado para registro y declaraciones de tenencia de calefactores en viviendas pero existe un número reducido de nuevas declaraciones (total de 51656 calefactores inscritos)	S/I	2014	S/I	2014	Permanente	Cuantitativa	2014	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2014)	Cumplimiento parcial. Aún falta por inscribirse un porcentaje significativo de artefactos a leña
Comercialización y uso de leña seca	Diseño de programa	Realización de estudio "Apoyo al programa de fortalecimiento de la calidad de la leña y a la implementación de instrumentos de gestión para el ordenamiento de su comercialización, en el marco del Plan de Descontaminación Atmosférica de Temuco y Padre Las Casas". A partir del cual se genera un catastro de 730 comerciantes de leña en Temuco y Padre Las Casas, y además, un	S/I	S/I	S/I	S/I	N/A	N/A	2010	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2011)	Cumplimiento parcial. No existe una formalización de todos los oferentes

		listado con 50 lugares de venta formal de leña										
Comercialización y uso de leña seca	Apoyo a productores	Implementación de 2 secadores de leña para un volumen de 507 m ³ /año	S/I	S/I	S/I	S/I	Permanente	Cuantitativa	2015	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2015)	Cumplimiento parcial. La oferta de leña seca aún es insuficiente respecto al volumen comercializado	

Fuente: Elaboración propia en base a Informes del PDA realizados por la SEREMI del MMA región de La Araucanía

Tabla 4. Implementación y cumplimiento de medidas asociadas a la educación de la ciudadanía

Medida	Acción ejecutada	Detalles de acción ejecutada	Mes de inicio	Año inicial	Mes final	Año final	Temporalidad de efectos	Característica	Año Informe de Resultados PDA	Fuente	Cumplimiento
Educación	Difusión	Se generan 27.500 materiales de folletería, 3644 avisos radiales y 197 spots televisivos	S/I	2010	S/I	2010	Permanente	Cuantitativa	2010	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2011)	Cumplimiento total
Educación	Difusión	Convenio para enviar folleto informativo del PDA a 78 mil viviendas en cuentas de luz	Marzo	2011	S/I	S/I	S/I	Cualitativa	2011	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2012)	Cumplimiento total
Educación	Difusión	SERNAC realiza reporte mensual y difusión sobre lugares de venta de leña seca	Enero	2013	Diciembre	2013	Permanente	Cualitativa	2013	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2014)	Cumplimiento total

Fuente: Elaboración propia en base a Informes del PDA realizados por la SEREMI del MMA región de La Araucanía

Tabla 5. Implementación y cumplimiento de medidas asociadas a la prohibición de chimeneas

Medida	Acción ejecutada	Detalles de acción ejecutada	Mes de inicio	Año inicial	Mes final	Año final	Temporalidad de efectos	Característica	Año Informe de Resultados PDA	Fuente	Cumplimiento
Prohibición de chimeneas	Prohibición del uso de chimeneas	Inicio de la prohibición de uso de chimeneas	Diciembre	2010	N/A	N/A	Permanente	Cualitativa	2011	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2012)	Cumplimiento total
Prohibición de chimeneas	Fiscalización	Fiscalización a 287 viviendas de las cuales un 1,4% posee chimenea, 100% de cumplimiento de norma.	S/I	2012	S/I	2012	Temporal	Cuantitativa	2012	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2013)	Cumplimiento total

Fuente: Elaboración propia en base a Informes del PDA realizados por la SEREMI del MMA región de La Araucanía

Tabla 6. Implementación y cumplimiento de medidas asociadas a la gestión de episodios críticos

Medida	Acción ejecutada	Detalles de acción ejecutada	Mes inicial	Año inicial	Mes final	Año final	Temporalidad de efectos	Característica	Año Informe de Resultados PDA	Fuente	Cumplimiento
Gestión de episodios críticos	Pronósticos y difusión	Se generan pronósticos y reportes de calidad de aire	Abril	2010	Octubre	2010	Temporal	Cualitativa	2010	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2011)	Cumplimiento total
Gestión de episodios críticos	Fiscalización	Fiscalización a viviendas durante 17 episodios críticos entre 17:30 y 20:00 hrs.	Mayo	2012	Octubre	2012	Temporal	Cuantitativa	2012	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2013)	Cumplimiento parcial. El nivel de fiscalización es más alto en episodios críticos
Gestión de episodios críticos	Fiscalización	Fiscalización en GEC a 2889 hogares y se inició un sumario a 358 por no cumplimiento	Mayo	2014	Agosto	2014	Temporal	Cuantitativa	2014	SEREMI del MMA región de La Araucanía (2014)	Cumplimiento parcial. Aún existe un porcentaje importante de hogares que infringe la medida

Fuente: Elaboración propia en base a Informes del PDA realizados por la SEREMI del MMA región de La Araucanía

4.5 PROPONER INDICADORES DE SEGUIMIENTO PARA EVALUAR EL GRADO DE IMPLEMENTACIÓN DEL PDA

En esta sección se proponen indicadores directos y/o indirectos para determinar el grado de implementación de cada una de las medidas evaluadas. Además, cuando existe información actualizada disponible (informes oficiales o estimaciones de estudios) se calcula el valor del indicador en términos porcentuales solo con el objetivo de ejemplificar su cálculo y no como una evaluación del PDA para MP_{2,5}, ya que muchos datos utilizados para obtener el indicador son previos a su implementación.

Con la información histórica disponible y a partir de los cálculos de los indicadores presentados en la Tabla 7 se puede concluir lo siguiente para cada eje de medidas.

Comercialización y uso de leña seca: El número de fiscalizaciones sobre los vendedores de leña respecto al potencial de fiscalizaciones diarias es demasiado bajo para inducir cumplimiento (0,1%). Lo anterior, se confirma al observar el alto el porcentaje de incumplimiento en los vendedores de leña (75%). También, es alto el porcentaje de incumplimiento sobre la utilización de leña seca en los hogares (40,9%). Sin embargo, ha crecido a través del tiempo el número de vendedores que participan en proyectos para mejorar la calidad de la leña que comercializan (18,2%), pero aún es bajo el número de oferentes certificados (2,9%), y además, se requieren más proyectos de secadores financiados con recursos públicos porque la leña secada en este tipo de instalaciones representa un porcentaje mínimo respecto al volumen total de leña comercializada (0,1%).

Recambio de calefactores y cocinas a leña: Es alto el porcentaje de registro de calefactores (61,8%), aunque en los últimos años se ha estancado el número de hogares que ha decidido registrarse. Sin embargo, el porcentaje de recambio efectivo de calefactores es bajo respecto a la meta propuesta (8,4%).

Mejorar la aislación térmica en las viviendas: El porcentaje de subsidios adjudicados para aislación de viviendas presenta avances significativos (34,5%), incluso superiores respecto a la meta propuesta. Sin embargo, la ejecución de esos subsidios fue baja en los años iniciales, y además, no hay información reciente que permita asegurar que esa situación ha cambiado en la actualidad.

Educar a la ciudadanía: La autoridad desarrolla cuentas públicas cada año (100% de cumplimiento), así como también difusión diaria de calidad de aire entre abril y septiembre (100%). No obstante, falta información o un estudio que permita determinar el número de personas que cambia su conducta gracias a estas campañas educacionales o de difusión.

Tabla 7. Propuesta de indicadores de seguimiento para la evaluación del PDA¹³

Eje estratégico	Medida	Evaluada en AGIES	Artículo del PDA	Institución responsable	Indicadores de seguimiento	Datos para ejemplificar el cálculo de indicadores de seguimiento	Valor para indicador de seguimiento
Fomentar la calidad de la leña	Exigencia de comercialización de leña seca	Sí	Artículo 4.-Desde la publicación del presente Decreto en el Diario Oficial, toda la leña que sea comercializada en la zona saturada deberá cumplir los requerimientos técnicos de la Norma NCh2907, de acuerdo a la especificación de “leña seca”, establecida en la tabla 1 de dicha norma. Para la fiscalización de la comercialización de leña se utilizará la metodología establecida en la Norma NCh2965.	SMA	N° fiscalizaciones/día/ N° vendedores	730 vendedores (fuente: "Apoyo al programa de fortalecimiento de la calidad de la leña y a la implementación de instrumentos de gestión para el ordenamiento de su comercialización, en el marco del Plan de Descontaminación Atmosférica de Temuco y Padre Las Casas"); 194 fiscalizaciones en 2012 (fuente: SEREMI MMA)	0,1%
Fomentar la calidad de la leña	Exigencia de uso de xilohigrómetro en comercio de leña	Sí	Artículo 5.- Desde la publicación del presente Decreto en el Diario Oficial los comerciantes de leña deberán contar con un xilohigrómetro que permita verificar el cumplimiento de esta norma, para ser utilizado a requerimiento del cliente. Dicho equipo deberá contar con electrodos que permitan medir a una profundidad de al menos 20 mm para asegurar que se establezca el contenido de humedad interior de la leña.	SMA	N° multas cursadas/N° vendedores fiscalizados	16 fiscalizaciones a puntos de venta en 2013 (fuente: SEREMI MMA); 12 multas	75,0%

¹³ Las 15 medidas evaluadas en el AGIES incluían medidas de línea base (4), fuentes agrícolas, industriales o móviles (4), por lo cual solo 7 corresponden a medidas para fuentes residenciales tal como coincide con esta tabla.

Fomentar la calidad de la leña	Registro de comerciantes de leña y permiso especial	No	Artículo 6.- Desde la publicación del presente Decreto en el Diario Oficial todo comerciante de leña, que realice la actividad en la zona saturada, deberá inscribirse en un registro de carácter obligatorio que será administrado por el Municipio, sin perjuicio de la obligación de contar con la patente municipal respectiva.	MUNICIPIO S	N° vendedores registrados/N° vendedores	730 vendedores (fuente: "Apoyo al programa de fortalecimiento de la calidad de la leña y a la implementación de instrumentos de gestión para el ordenamiento de su comercialización, en el marco del Plan de Descontaminación Atmosférica de Temuco y Padre Las Casas"); 60 vendedores formales en 2012 (fuente: SEREMI MMA, 2013)	8,2%
Fomentar la calidad de la leña	Diseño de indicadores de energía calórica de la leña	No	Artículo 7.-Transcurridos 12 meses desde la publicación en el Diario Oficial del presente Decreto, el Ministerio de Energía diseñará indicadores respecto de la energía calórica entregada por la leña según porcentaje de humedad y formato de venta, entre otros parámetros.	ENERGIA	% humedad de leña en zona PDA/ % humedad de leña en resto del país	S/I (Se sugiere realizar muestreos de humedad en la zona del PDA y en el resto del país)	S/I
Fomentar la calidad de la leña	Exigencia de uso de leña seca	Sí	Artículo 9.- Desde la entrada en vigencia del presente Decreto, se prohíbe en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, el uso de leña en calefactores, salamandras, calefactor de cámara simple y hechizo, o cocinas, que no cumpla los requerimientos técnicos de la Norma NCh2907, de acuerdo a la especificación "leña seca" establecida en la tabla 1 de dicha Norma, la cual define como leña seca aquella que tiene un contenido de humedad menor o igual a 25% en base seca. La verificación del contenido de humedad de la leña se realizará acorde a lo establecido en la Norma NCh2965. La fiscalización de esta medida y sanción en caso de incumplimiento, corresponderá a la Secretaría Regional Ministerial de Salud, conforme a sus atribuciones.	SEREMI DE SALUD	N° hogares que utilizan leña húmeda/N° hogares fiscalizados	308 viviendas fiscalizadas, 126 usaban leña húmeda en año 2013 (fuente: SEREMI MMA, 2014)	40,9%

Fomentar la calidad de la leña	Programa de apoyo a la producción de leña seca	No	Artículo 10.- Desde la publicación en el Diario Oficial del presente Decreto, la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) ejecutarán anualmente un programa de apoyo a la producción de leña seca que involucrará a los productores de leña de toda la zona saturada y se extenderá a toda la región de La Araucanía. CONAF se focalizará en la capacitación y transferencia tecnológica para los productores de leña, en tanto INDAP, a través de sus actuales instrumentos, focalizará recursos para el aumento de la oferta de leña seca, dirigido a pequeños propietarios de predios. Cada año, en el mes de marzo, dichas instituciones informarán respecto de la planificación, metas y recursos asociados al programa.	CONAF - INDAP	Nº de vendedores certificados/ Nº de vendedores certificados	15 vendedores certificados y 6 en proceso de certificación (Fuente: Informe Final Convenio CONAF-SNCL 2015); 730 vendedores estimados (fuente: "Apoyo al programa de fortalecimiento de la calidad de la leña y a la implementación de instrumentos de gestión para el ordenamiento de su comercialización, en el marco del Plan de Descontaminación Atmosférica de Temuco y Padre Las Casas")	2,9%
Fomentar la calidad de la leña	Operación de mesa de fiscalización forestal	No	Artículo 11.- La CONAF, desde la publicación en el Diario Oficial del presente Decreto, coordinará la mesa de fiscalización forestal, a la que se convocará, al menos a las I. Municipalidades de Padre Las Casas y de Temuco, al Servicio de Impuestos Internos, a Carabineros de Chile, a la Superintendencia del Medio Ambiente y a la SEREMI del Medio Ambiente. La mesa tendrá por objeto revisar todos los aspectos normativos referidos a la producción, transporte y comercialización de leña.	CONAF	Nº de reuniones de coordinación/Nº de reuniones comprometidas	2 reuniones de coordinación de un total de 2 reuniones planificadas	100,0%

Fomentar la calidad de la leña	Programas de fomento para la producción y comercialización de leña seca	No	Artículo 12.- Transcurridos 6 meses desde la publicación en el Diario Oficial del presente Decreto, la Secretaría Regional Ministerial de Economía de la región de La Araucanía, en conjunto con la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) y, o el Servicio de Cooperación Técnica (SERCOTEC), en el marco de sus competencias, apoyarán a los productores y comercializadores de leña, para que éstos den cumplimiento a las normas sobre calidad de la leña a que se refiere el presente Plan. Para ello deberá implementar programas de fomento que contemplen capital de trabajo y que permita a los comerciantes y/o productores de leña asegurar un stock de leña seca. Cada año, en el mes de marzo, dichas instituciones informarán respecto de la planificación, metas y recursos asociados al programa.	SEREMI ECONOMIA - CORFO - SERCOTEC	(N° vendedores de leña beneficiarios*m ³ promedio comercializado)/(N° vendedores de leña totales*m ³ promedio comercializado)	77 vendedores que participan en proyectos CORFO o SERCOTEC en el periodo (fuente: SEREMI MMA, 2015); 246 mil m ³ vendidos por 168 productores (fuente: SICAM, 2016); 621 mil m ³ de demanda de leña seca en la zona (fuente: SICAM, 2016)	18,2%
Fomentar la calidad de la leña	Reporte mensual de leña seca	No	Artículo 13.- Desde la publicación en el Diario Oficial del presente Decreto la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente de la región de La Araucanía con el apoyo de la Dirección Regional del Servicio Nacional del Consumidor (SERNAC), dará mensualmente a conocer a la comunidad los establecimientos que cuentan con stock de leña seca según la Norma NCh2907.	MMA - SERNAC	N° de informativos enviados / N° hogares N° de llamadas a call center/ N° hogares	Convenio para enviar folleto informativo del PDA a 78 mil viviendas en cuentas de luz (fuente: SEREMI MMA); 99300 hogares estimados al mismo año de enviado el folleto informativo (fuente: estimación propia a partir de datos de SICAM, 2016)	78,5%
Fomentar la calidad de la leña	Desarrollo de una Política Nacional y Regional sobre Calefacción y Uso de la Leña.	No	Artículo 14.- Desde la publicación en el Diario Oficial del presente Decreto el Ministerio de Energía, en el marco de sus facultades, entregará los resultados y conclusiones de las mesas regionales de calefacción eficiente y dendroenergía tendientes a desarrollar una Política Nacional y Regional sobre Calefacción y Uso de la Leña.	ENERGIA	N° de políticas, planes, proyectos y programas realizados / N° de políticas, planes, proyectos y programas coordinados	S/I (Se sugiere realizar una sistematización y clasificación de la información del Ministerio de Energía)	S/I
Recambio de calefactores y cocinas a leña	Fomento a proyectos orientados a la generación de	No	Artículo 15.- Desde la publicación en el Diario Oficial del presente Decreto, la SEREMI de Economía, en conjunto con CORFO y/o SERCOTEC, en el marco de	SEREMI ECONOMIA - CORFO - SERCOTEC	Volumen de leña en secador/volumen de leña utilizada	4 secadores (fuente: SEREMI MMA, 2015); volumen de secado de 507 m ³ /año; ; 621 mil m ³ de	0,1%

	energía para calefacción a través de ERNC		sus competencias, impulsará y fomentará los proyectos de inversión en la región orientados a la generación de energía para calefacción a través de Energías Renovables No Convencionales, para lo cual procurará obtener financiamiento sectorial o del Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR).	- GORE	N° innovaciones comercializadas	demanda de leña seca en la zona (fuente: SICAM, 2016)	
Recambio de calefactores y cocinas a leña	Prohibición de chimeneas de hogar abierto y de quemar en las estufas cualquier elemento distinto a la leña, briquetas o pellets de madera.	Sí	Artículo 16.- A contar de la entrada en vigencia del presente Decreto, se prohíbe en la zona saturada utilizar chimeneas de hogar abierto y quemar en los calefactores, carbón mineral, maderas impregnadas, residuos o cualquier elemento distinto a la leña, briquetas o pellets de madera. La fiscalización de esta medida y sanción en caso de incumplimiento, corresponderá a la Secretaría Regional Ministerial de Salud, conforme a sus atribuciones.	SEREMI DE SALUD	N° uso chimenea / N° fiscalizaciones N° multas en GEC/ N° fiscalizaciones en GEC	Fiscalización a 308 viviendas, 1% usaba chimenea (fuente: SEREMI MMA). Fiscalización en GEC a 2889 hogares y se inició un sumario a 358 por no cumplimiento	1% y 12,4%
Recambio de calefactores y cocinas a leña	Prohibición de calefactores a leña en establecimientos cuyo destino no sea habitacional	No	Artículo 24.- A partir del 1° de enero de 2016, se prohíbe el uso de calefactores a leña en los establecimientos comerciales y de servicios, ubicados en la zona saturada, así como también en cualquier establecimiento u oficina cuyo destino no sea habitacional.	SMA	N° fiscalizaciones/mes / N° establecimientos con calefactores	S/I (Se sugiere establecer un catastro de los establecimientos y seguimiento de la fiscalización)	S/I
Recambio de calefactores y cocinas a leña	Prohibición de calefactores a leña en organismos de la Administración del Estado.	No	Artículo 25.- Transcurridos 12 meses desde la publicación del presente Decreto en el Diario Oficial, se prohíbe el uso de calefactores a leña, en todos los organismos de la Administración del Estado.	SMA	N° recambio de calefactores a pellets en organismos públicos/ N° establecimientos de organismos públicos	Recambio de 601 equipos a pellets (fuente: SEREMI MMA, 2015); S/I sobre número de instituciones públicas	S/I
Recambio de calefactores y cocinas a leña	Programa de recambio de calefactores	Sí	Artículo 26.- Desde la entrada en vigencia del presente Decreto, la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente de la región de La Araucanía, ejecutará anualmente un programa de recambio voluntario de calefactores y cocinas existentes, que combustionen leña en la zona saturada, para lo cual procurará obtener financiamiento sectorial o del	MMA	N° total recambio estufas a leña/meta total	2011-2012 afirma 519 recambios, 2012-2013 afirma 445 recambios, 2014-2015 afirma 1158 recambios a leña todos en hogares, y además, Polígono Javiera Carrera entrega 137 a pellets y 2 a leña GORE-MINVU (fuente: SEREMI MMA,	8,4%

			<p>Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR). Dicho programa tendrá como objetivo acelerar el recambio de calefactores y cocinas a leña, por equipos de calefacción más eficientes y de menores emisiones de partículas, de tal forma de apoyar a la ciudadanía en el cumplimiento de la regulación a la que se refieren los artículos 17 y 18 del presente Decreto, en el plazo determinado. Los requisitos específicos de los sistemas de calefacción y tipo de combustible que serán incorporados en los programas anuales de recambio, serán establecidos por el Ministerio del Medio Ambiente. En el caso de que el combustible sea leña o pellet de madera, éstos deberán cumplir como mínimo con los límites de emisión establecidos en el D.S. N° 39, de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente, Norma de Emisión de Material Particulado para los artefactos que combustionen o puedan combustionar leña y pellet de madera, y sus modificaciones. En cuanto al rendimiento, los calefactores a leña, deberán cumplir con un valor de al menos 70%, de acuerdo a lo establecido en la Norma NCh3173 y, los calefactores a pellets, deberán cumplir con un valor de al menos 75% en potencia nominal, de acuerdo a lo establecido en la Norma NCh3282. El programa contemplará un recambio de al menos 27.000 calefactores y/o cocinas a leña en la zona saturada, en un plazo de 5 años. Al menos 12.000 recambios serán por sistemas de calefacción que utilicen un combustible distinto a la leña.</p>			2015)	
--	--	--	---	--	--	-------	--

Recambio de calefactores y cocinas a leña	Oficina para el recambio de calefactores	No	Artículo 27.- Transcurridos 6 meses desde la publicación del presente Decreto en el Diario Oficial el Ministerio del Medio Ambiente implementará, directamente o a través de terceros, una oficina específica para operativizar y gestionar los programas de recambio de calefactores y cocinas a leña, que se ejecuten durante la vigencia del Plan de Descontaminación Atmosférica.	MMA	N° atenciones/N° postulantes	S/I (Se sugiere generar un registro oficial)	S/I
Recambio de calefactores y cocinas a leña	Sistema de registro de calefactores y cocinas a leña.	No	Artículo 28.- Transcurridos 12 meses desde la publicación del presente Decreto en el Diario Oficial y durante su vigencia, la SEREMI del Medio Ambiente de La Araucanía, implementará un sistema de registro de calefactores y cocinas a leña, tomando como base el listado de la SEREMI de Salud implementado en el marco del Plan de Descontaminación Atmosférica por MP10 de Temuco y Padre Las Casas (D.S. 78/2009, MINSEGPRES). Será requisito obligatorio para ser beneficiario del programa de recambio, tener el calefactor y/o cocina previamente inscrito en el sistema de registro antes señalado.	MMA	N° hogares registrados/N° hogares que usan leña	51656 calefactores registrados al año 2014; calefactores estimados 83538 (fuente: SICAM, 2016)	61,8%
Mejorar la aislación térmica de las viviendas	Programa de subsidios para Acondicionamiento Térmico de las viviendas existentes	Sí	Artículo 29.- La Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo de la Región de La Araucanía (SEREMI de Vivienda y Urbanismo), entregará al menos 40.000 subsidios para Acondicionamiento Térmico de las viviendas existentes en la zona saturada, dentro del plazo de 10 años, conforme al D.S N° 255, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo de 2006, que Reglamenta Programa de Protección del Patrimonio Familiar, o el que lo reemplace. Para su implementación se realizarán llamados especiales en la zona saturada que indicarán los requisitos de postulación.	MINVU	N° subsidios de aislación/ N° subsidios meta N° de subsidios ejecutados / N° de subsidios asignados	En 2010 son 1510 subsidios, 2011 son 1658 subsidios, 2012 son 4201 subsidios, 2013 son 1465 subsidios, 2014 son 1434 subsidios, todos los anteriores son asignados (Fuente: SEREMI MMA, 2015). En 2015 a 2016 van 3540 subsidios (Fuente: MINVU, 2016). S/I reciente sobre subsidios efectivamente ejecutados.	34,5%

Mejorar la aislación térmica de las viviendas	Programa de subsidio adicional para ampliaciones no regularizadas	No	Artículo 30.- A partir de la entrada en vigencia del presente Decreto, y en caso que la vivienda que postule al subsidio de Acondicionamiento Térmico cuente con ampliaciones no regularizadas, el monto del subsidio podrá ser complementado con un monto adicional que permita financiar total o parcialmente, tanto las obras necesarias como las gestiones administrativas para regularizar dichas construcciones. El proyecto de regularización deberá ser desarrollado antes de comenzar la ejecución de las obras, para asegurar su incorporación, cuando sea necesario, en forma conjunta al acondicionamiento térmico.	MINVU	(N° de subsidios aislación para viviendas no regularizadas/N° de subsidios aislación) / (N° de viviendas no regularizadas/N° viviendas totales)	S/I (Se sugiere tener un registro más detallado de los subsidios y caracterización de los hogares postulantes)	S/I
Mejorar la aislación térmica de las viviendas	Norma de aislación térmica para mejoramiento térmico de viviendas existentes	No	Artículo 31.- Desde la entrada en vigencia del presente Decreto, las viviendas a las cuales se les entregue el subsidio de acondicionamiento térmico, referido en el artículo 29, deberán cumplir al menos los siguientes estándares: (transmitancia, riesgo de condensación, infiltraciones de aire y ventilación)....	MINVU	N° fiscalizaciones técnicas / N° subsidios de aislación entregados	S/I (Se sugiere generar un registro de la verificación técnica de los subsidios entregados por el MINVU)	S/I
Mejorar la aislación térmica de las viviendas	Norma de aislación térmica para viviendas nuevas	Sí	Artículo 32.- A 12 meses de la entrada en vigencia, del presente Decreto, toda vivienda nueva que se construya en la zona saturada deberá cumplir al menos con los siguientes estándares: (transmitancia, riesgo de condensación, infiltraciones de aire y ventilación)....	MINVU	N° fiscalizaciones técnicas a viviendas nuevas / N° viviendas nuevas	S/I (Se sugiere generar un registro de la verificación técnica de los subsidios entregados por el MINVU)	S/I
Mejorar la aislación térmica de las viviendas	Programa de capacitación y acreditación en aspectos técnicos referidos a la eficiencia energética de la vivienda	No	Artículo 34.- Transcurridos 6 meses desde la publicación del presente Decreto en el Diario Oficial, el MINVU implementará un programa de capacitación y acreditación en aspectos técnicos referidos a la eficiencia energética de la vivienda, orientado a profesionales del sector público y privado, Prestadores de servicio de asistencia técnica (PSAT) y entidades de gestión inmobiliaria social (EGIS). Dicho programa deberá ser ejecutado una vez al año durante los 5 primeros años de vigencia del presente Decreto.	MINVU	N° de personas capacitadas/N° técnicos y profesionales	Desarrolla capacitaciones a EGIS (fuente: SEREMI MMA, 2015) (Se sugiere sistematizar los registros de las capacitaciones y establecer un catastro de técnicos y profesionales del área)	S/I

Mejorar la aislación térmica de las viviendas	Programa de calefacción limpia y eficiente en el marco de la construcción sustentable	No	Artículo 37.- A partir de 12 meses desde la publicación del presente Decreto en el Diario Oficial, el Ministerio del Medio Ambiente y CORFO ejecutarán un programa de calefacción limpia y eficiente en el marco de la construcción sustentable, que considere el desarrollo de un programa de difusión tecnológica, acuerdos de producción limpia, nodos de competitividad y acciones.	MMA - CORFO	N° innovaciones, procesos o negocios ejecutados / N° empresas sector construcción	S/I (Se sugiere establecer un registro conjunto entre CORFO y el MMA para realizar un seguimiento de las innovaciones procesos o negocios ejecutados. El número de empresas se puede obtener del SII)	S/I
Educación a la ciudadanía	Desarrollo de una estrategia Comunicacional	No	Artículo 70.- La SEREMI del Medio Ambiente de La Araucanía desde la entrada en vigencia del presente Decreto, desarrollará anualmente un Programa de Difusión y Educación que considere las siguientes líneas: Artículo 70-a) Desarrollo de una Estrategia Comunicacional, la que contendrá un conjunto de campañas públicas anuales y mecanismos de difusión a la comunidad, para que se encuentre debida y oportunamente informada respecto del Plan de Descartaminación Atmosférica de manera de promover el cumplimiento de sus medidas y educar a la comunidad respecto a prácticas y acciones que apunten a la descartaminación del aire.	MMA	N° de likes en redes sociales/N° habitantes N° personas que afirman haber escuchado del programa/ N° habitantes	S/I (Se sugiere monitorear la actividad en redes sociales. Además, se debería desarrollar una encuesta online)	S/I
Educación a la ciudadanía	Información expedita de calidad de aire y avances en el PDA	No	Artículo 70-b) Diseño y mantención de un sistema para entregar de manera expedita información a la ciudadanía relativa a datos de calidad del aire, avances y cumplimiento de medidas del Plan.	MMA	N° de reportes/N° de días	91 reportes en 180 días	49,9%
Educación a la ciudadanía	Cuenta pública anual relativa a los avances y logros del Plan.	No	Artículo 70-c) Realización anual de una cuenta pública relativa a los avances y logros del Plan	MMA	Desarrolla o no desarrolla cuenta pública	Desarrolla cuentas públicas cada año (fuente: SEREMI MMA, 2015)	100,0%
Educación a la ciudadanía	Incorporación en el marco del SNCAE la temática de calidad del aire en los programas de trabajo.	No	Artículo 70-d) Incorporación en el marco del Sistema Nacional Ambiental de Certificación de Establecimientos Educativos de Temuco y Padre Las Casas, de la temática de calidad del aire en los programas de trabajo	MMA	N° profesores capacitados/N° profesores	Programa de trabajo con profesores de establecimientos SNCAE y ejecución de seminarios y talleres con profesores pero no se identifica el número (fuente: SEREMI MMA, 2015) (Se sugiere	S/I

						sistematizar o generar un registro de los profesores se puede obtener de los capacitados, mientras que el total de profesores pueden ser obtenidos de estadísticas del Ministerio de Educación)	
Educación a la ciudadanía	Promoción, en el marco del FPA, el desarrollo de iniciativas de mejoramiento de calidad del aire en la zona saturada.	No	Artículo 70-e) Promoción en el marco del Fondo de Protección Ambiental en la comunidad, el desarrollo de iniciativas de mejoramiento de calidad del aire en la zona saturada.	MMA	Nº iniciativas alineadas con el PDA y financiadas / Nº iniciativas totales postuladas en la zona	Se lleva a cabo el primer FPA a nivel urbano que busca recuperar las áreas verdes de la Población Pulmahue (fuente: SEREMI MMA, 2012) (Se sugiere obtener la información de los proyectos postulados y adjudicados al programa FPA que tengan relación con la contaminación del aire en la zona)	S/I
Educación a la ciudadanía	Desarrollo de un programa de trabajo en educación Formal	No	Artículo 71.- La SEREMI de Educación de La Araucanía, transcurridos 6 meses desde la publicación del presente Decreto en el Diario Oficial, realizará las siguientes acciones: - Generación de una estrategia de concientización sobre el Plan de Descontaminación Atmosférica, para las y los estudiantes de Temuco y Padre Las Casas; instaurando alianzas con otros organismos competentes, destacando a los Establecimientos Educativos que releven la temática, y dando cuenta del estado de avance de los compromisos adquiridos. - Reforzamiento del rol de la SEREMI de Educación en la temática medioambiental, orientando a los Establecimientos Educativos de Temuco y Padre Las Casas respecto de la implementación de contenidos en el aula sobre el reconocimiento, tratamiento y solución del problema, con asidero en las Bases Curriculares vigentes. - Realización de un programa de Capacitación a profesores, directivos y centros de estudiantes en la temática de manejo y	SEREMI DE EDUCACION N	Nº de profesores en talleres / Nº profesores Nº de alumnos en talleres / Nº alumnos Nº alumnos con conocimientos ambientales / Nº alumnos	S/I (Se sugiere sistematizar o generar un registro de los asistentes a los diferentes talleres. El número de alumnos o profesores se puede obtener de los registros del Ministerio de Educación. El número de alumnos con conocimientos ambientales se podría obtener a partir de un test presencial u online realizado a una muestra de establecimientos educacionales)	S/I

			conservación de la calidad del aire.				
Educación a la ciudadanía	Ejecución de Plan de acción para abordar la temática de difusión y educación de la calidad del aire.	No	Artículo 72.- La SEREMI del Medio Ambiente se coordinará con los Municipios de Temuco y de Padre Las Casas para que, dentro del plazo de seis meses desde la publicación del presente Decreto en el Diario Oficial, elaboren un plan de acción con actividades y plazos para abordar la temática de difusión y educación de la calidad del aire. La SEREMI del Medio Ambiente velará porque dicho plan sea actualizado y ejecutado cada año, y en el mes de marzo, las municipalidades mencionadas le envíen su programación para publicarla en la página Web de la SEREMI.	MMA - MUNICIPIOS DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS	N° de alumnos en charlas / N° alumnos N° de horas de estudio en temáticas ambientales / N° horas de estudio	S/I (Se sugiere sistematizar o generar un registro de charlas y horas de estudios en temáticas ambientales. El número de alumnos y horas de estudio se puede obtener de registros del Ministerio de Educación)	S/I
Educación a la ciudadanía	Ejecución de Plan de acción para abordar la temática de difusión y educación de la calidad del aire.	No	Artículo 73.- La SEREMI de Salud de La Araucanía dentro del plazo de seis meses desde la publicación del presente Decreto en el Diario Oficial, elaborará un plan de acción con actividades y plazos para abordar la difusión y educación con la comunidad respecto a la calidad del aire en la zona saturada y el Plan de Descontaminación, e incorporará anualmente dentro del Programa Regional de Promoción de la Salud un objetivo referido a esta temática. Dicho plan deberá ser actualizado y ejecutado cada año durante la vigencia del Plan de Descontaminación, y en el mes de marzo, de cada año, la SEREMI de Salud enviará su programación a la SEREMI del Medio Ambiente quien la publicará en la página WEB.	SEREMI DE SALUD	N° de actividades realizadas	difusión diaria de modelo de pronóstico de calidad de aire entre abril y septiembre	100,0%

Educación a la ciudadanía	Jornadas de capacitación a líderes vecinales	No	Artículo 74.- Desde la entrada en vigencia del presente Decreto la SEREMI del Medio Ambiente convocará a la SEREMI de Gobierno de la Región de la Araucanía, para realizar anualmente dos jornadas de capacitación a líderes vecinales, que tendrán por objeto entregar información y promover las prácticas orientadas al mejoramiento de la calidad del aire, entregándoles herramientas para apoyar la difusión en sus sectores y promoviendo la búsqueda de financiamiento y ejecución de proyectos asociados con la temática, tales como compra comunitaria de leña seca, mejoramiento de infiltración de aire en viviendas y brigadas de fiscalización ciudadana, entre otras.	MMA - SEREMI DE GOBIERNO	Nº talleres a juntas de vecinos/Nº de juntas de vecinos	11 talleres el año 2012 a juntas de vecinos. S/I sobre número total de juntas de vecinos (Se sugiere obtener la información de las juntas de vecinos de las municipalidades de Temuco y Padre Las Casas)	S/I
Educación a la ciudadanía	Campaña comunicacional asociada a la promoción del buen uso de la biomasa, buen uso de los calefactores y promoción de los programas de recambio	No	Artículo 75.- El Ministerio de Energía desarrollará, durante la implementación del presente Plan, una campaña comunicacional asociada a la promoción del buen uso de la biomasa, buen uso de los calefactores y promoción de los programas de recambio. En el mes de marzo, de cada año, el Ministerio de Energía enviará información de la campaña a la SEREMI del Medio Ambiente quien la publicará en la página Web.	ENERGIA	Realiza o no realiza campaña comunicacional	S/I (Se sugiere sistematizar la información del Ministerio de Energía)	S/I

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Seremi del MMA región de la Araucanía

5 DESARROLLO DE ACTIVIDADES DEL COMPONENTE N° 2

5.1 BASES DE DATOS DE POSTULACIÓN A LOS PROGRAMAS DE AISLAMIENTO TÉRMICO Y RECAMBIO DE CALEFACTORES

El MMA puso a disposición de la presente consultoría las bases de datos con los registros de los postulantes a los programas de recambio de calefactores y de aislamiento térmico de viviendas realizados en las comunas de Temuco y Padre Las Casas durante los diferentes llamados efectuados entre 2015 y 2016. La descripción de estos programas y las bases de datos de postulaciones se presentan a continuación.

5.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE RECAMBIO DE CALEFACTORES

El programa de recambio de calefactores es implementado por el MMA y tiene por objetivo reducir las emisiones de contaminantes generadas por la combustión residencial de leña. Este programa es parte de un plan general de descontaminación, enfocado en reducir las emisiones de material particulado generado por la combustión residencial de leña en el centro y sur de Chile. Las familias que pueden postular son aquellas que viven entre las regiones de O'Higgins y Aysén, pero está principalmente enfocado en quienes habitan ciudades que presentan altas concentraciones de material particulado debido a la combustión de leña, superando los niveles establecidos por la norma de calidad del aire. Específicamente, el público objetivo de este programa son viviendas ubicadas en zonas urbanas que tengan instalado un artefacto a leña que se encuentre en uso.

La intervención consiste en reemplazar un artefacto de calefacción a leña por un sistema de calefacción más limpio y eficiente. Para esto, el MMA señala en cada llamado a postulación cuáles son los modelos de calefactores que se contemplan en el programa de recambio. Las opciones que tienen los beneficiarios dependen de la región donde se efectuó el recambio. Las alternativas más comunes son los calefactores a kerosene (parafina), pellet, gas licuado y calefactor a leña certificado. Los beneficiarios deben estar dispuestos a entregar su actual artefacto de leña al MMA, quien se encarga de su destrucción. Además, las familias deben cancelar una cuota de instalación a la empresa encargada de instalar el nuevo equipo. El monto del aporte depende de la región y del tipo de artefacto que será instalado y puede ser pagado en efectivo, tarjeta de débito o crédito. Además, cabe señalar que la postulación al programa de recambio se puede realizar vía Internet o de forma presencial.

A modo de ejemplo, a continuación se describen los requisitos de postulación del 2° llamado para viviendas de Temuco y Padre Las Casas:

- Ser propietario del artefacto a leña que se quiere recambiar.

- El artefacto a leña debe estar inscrito en el registro de artefactos a leña que mantiene la SEREMI de Salud Región de La Araucanía.
- El artefacto a leña debe estar instalado en la vivienda y ser utilizado para calefacción y/o cocción de alimentos.
- En el caso de que en la vivienda exista más de un artefacto a leña, el artefacto con el cual postula debe ser uno de los dos más utilizados en la vivienda.
- La vivienda se debe ubicar dentro de la zona residencial urbana de las comunas de Temuco y Padre Las Casas.
- No aplican las postulaciones de calefactores instalados en departamentos.
- No aplican las postulaciones de calderas de calefacción domiciliarias.
- No se puede postular si se ha sido beneficiario de algún programa de recambio anterior.
- Se debe entregar el artefacto a leña antiguo para su destrucción.

5.1.2 ANÁLISIS DE LAS BASES DE DATOS EXISTENTES PARA EL PROGRAMA DE RECAMBIO DE CALEFACTORES

El MMA proporcionó una base de datos con los postulantes al programa de recambio de calefactores en las comunas de Temuco y Padre Las Casas. Las bases de datos incluyen a los postulantes, seleccionados, y beneficiarios de los diferentes llamados a postulación que ha tenido el programa.

Entre los años 2015 y 2016 este programa incluyó un primer y segundo llamado solo para recambio a calefactores a leña certificados, un primer y segundo llamado multi - opción en el cual los hogares podían escoger tres tipos de combustibles alternativos a la leña (pellet, kerosene y gas), y además, un primer y segundo llamado financiado por el Gobierno Regional (GORE) también con combustibles alternativos a la leña. El detalle del número de postulantes y beneficiados según llamado se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8. Detalle de postulaciones al programa de recambio de calefactores

Comuna	N° de postulaciones	N° de calefactores a pellet	N° de calefactores a kerosene	N° de calefactores a gas	N° de calefactores a leña	% de beneficiarios
1° llamado calefactores a leña						
Padre Las Casas	186	-	-	-	123	66,1%
Temuco	619	-	-	-	381	61,6%
Total	805	-	-	-	504	62,6%
1° llamado multi – opción						
Padre Las Casas	569	107	15	0	-	21,4%
Temuco	2116	403	75	0	-	22,6%
Total	2685	510	90	0	-	22,3%
1° llamado GORE						
Padre Las Casas	613	64	4	0	-	11,1%
Temuco	2916	334	25	0	-	12,3%
Total	3529	398	29	0	-	12,1%
2° llamado calefactores a leña						
Padre Las Casas	90	-	-	-	36	40,0%
Temuco	404	-	-	-	133	32,9%
Total	494	-	-	-	169	34,2%
2° llamado multi – opción						
Padre Las Casas	686	123	29	0	-	22,2%
Temuco	2992	471	218	0	-	23,0%
Total	3678	594	247	0	-	22,9%
2° llamado GORE						
Padre Las Casas	63	0	30	0	-	47,6%
Temuco	296	0	141	0	-	47,6%
Total	359	0	171	0	-	47,6%

Fuente: SEREMI MMA Región de la Araucanía

La base de datos para el recambio de calefactores consolidada que incluye los diferentes llamados registra un total de 11550 postulantes. Sin embargo, eso no significa que sean 11550 viviendas diferentes, ya que existen 3148 personas que habían postulado a llamados previos, por lo cual en realidad existen solo 8402 viviendas en la base de datos. A partir de los registros disponibles en esta base de datos se pueden identificar¹⁴ los nombres y apellidos del postulante, RUT, comuna, dirección, email, teléfono, fecha de postulación, estado (seleccionado, renuncia, lista de espera y beneficiado), tipo de artefacto que estaba

¹⁴ Esta información tiene carácter confidencial y solo es utilizada para la identificación de las viviendas que serán incluidas en el levantamiento de datos en terreno. Sin embargo, en ningún análisis se identifica explícitamente la información individual de los postulantes.

instalado (salamandra, hechizo, doble cámara con templador, cámara simple y cocina) y su ubicación en la vivienda, si se deseaba una nueva ubicación para el nuevo calefactor, si la vivienda era casa o departamento¹⁵, número de pisos de la vivienda, superficie en m², si la vivienda fue beneficiada previamente por algún tipo de subsidio para aislación (No SERVIU y SERVIU 2008-2015), antigüedad, estado del calefactor (bueno, regular y malo), número de habitaciones, consumo de leña (menos de 5 m³, entre 5 m³ y 9 m³, entre 10 m³ y 15 m³, y más de 15 m³), tipo de nuevo calefactor escogido (pellet, kerosene y leña).

Dependiendo del llamado a postulación se realizaron diferentes consultas sobre los miembros de la familia. En los primeros llamados se consultó por grupo familiar total y número de personas mayores de 60 años, pero en los siguientes no se consultó por el tamaño del grupo familiar sino solo por el número de personas menores de 15 años y mayores de 60 años. Por lo cual, estas variables caracterizadoras no se pueden consolidar para el total de postulantes. Además, solo en algunos llamados se consultó si las familias pertenecían al sistema de protección social, si las viviendas estaban localizadas en una zona de gestión de episodios críticos, y si tenían permiso de edificación. Finalmente, en algunos llamados se dispone del puntaje asignado al hogar en diferentes componentes, pero estos componentes no fueron los mismos en cada llamado, y además, existieron problemas en las fórmulas generadas automáticamente por el sistema informático en algunos de los llamados¹⁶, en consecuencia los puntajes reportados no pueden ser utilizados para caracterizar a los postulantes.

La base de datos consolidada con los diferentes llamados fue depurada y muchas de las preguntas abiertas fueron categorizadas para poder realizar un análisis más detallado, como por ejemplo la ubicación del artefacto antiguo en la vivienda (ampliación, bodega, escalera, cocina, dormitorio, entrada, living-comedor, parte trasera de la casa, pasillo, sala de estar y segundo piso), también se corrigieron algunas variables estandarizando los números telefónicos, número de pisos de la casa, tipo de vivienda, aislación, antigüedad, y además, se le asignó un valor *missing*¹⁷ a postulantes que afirmaban tener una vivienda con menos de 10 m² (la gran mayoría de ellas con 0 m²) y viviendas con 0 habitaciones o más de 30.

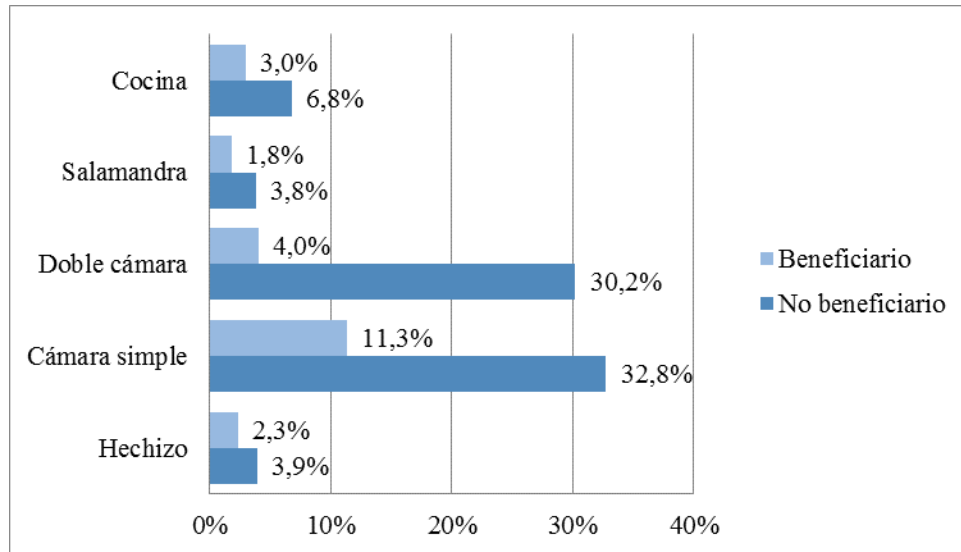
Los datos depurados revelan que la gran mayoría de los postulantes poseen estufas de cámara simple o doble cámara (ver Figura 10). Sin embargo, en términos relativos los postulantes que poseen estufa de doble cámara fueron menos beneficiados que los postulantes que poseen estufa con cámara simple, cocina, salamandra y artefactos hechizos. Estos equipos estaban instalados mayoritariamente en el living-comedor y en la cocina.

¹⁵ Existen 51 postulantes que afirman vivir en departamentos, lo cual es llamativo considerando que en las bases de postulación se establece que solo se beneficiará a postulantes que viven en casas.

¹⁶ Antecedentes obtenidos a través de contacto telefónico realizado el 27 de febrero de 2017 con Paula Muñoz, profesional de la SEREMI del MMA Región de la Araucanía.

¹⁷ A los datos no disponibles, también llamados datos *missing*, usualmente se les identifica con “.” en las bases de datos.

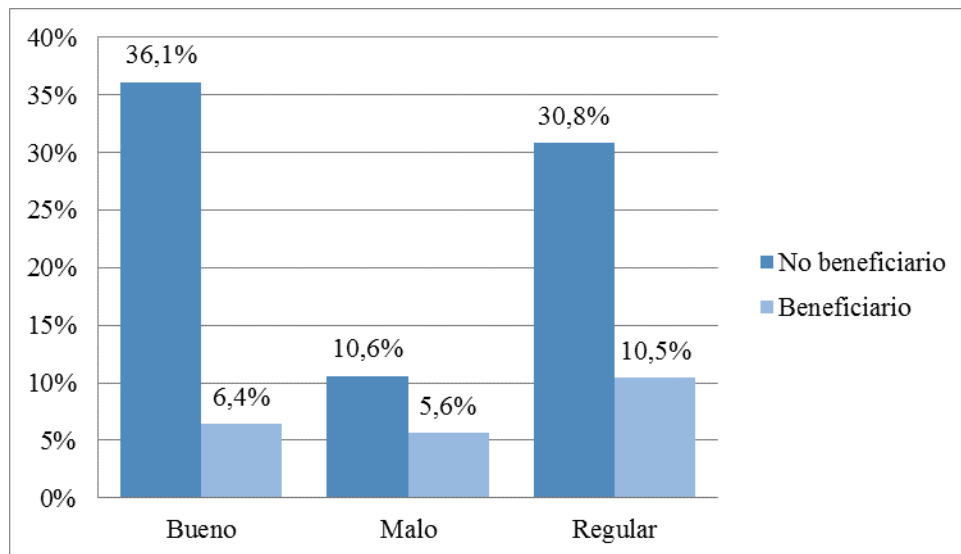
Figura 10. Tipo de calefactor poseído por los postulantes



Fuente: Elaboración propia

El estado de los calefactores de los postulantes es calificado en un 42,5% de los casos como bueno, 16,2% malo y 41,3% regular (ver Figura 11). Si se considera solo a los postulantes que tienen un calefactor en buen estado, el 15,1% fue seleccionado como beneficiario, en el caso de los postulantes que tienen un calefactor en mal estado el 34,6% fue beneficiado, y en el caso de los postulantes que tienen un calefactor en estado regular el 25,3% fue beneficiado.

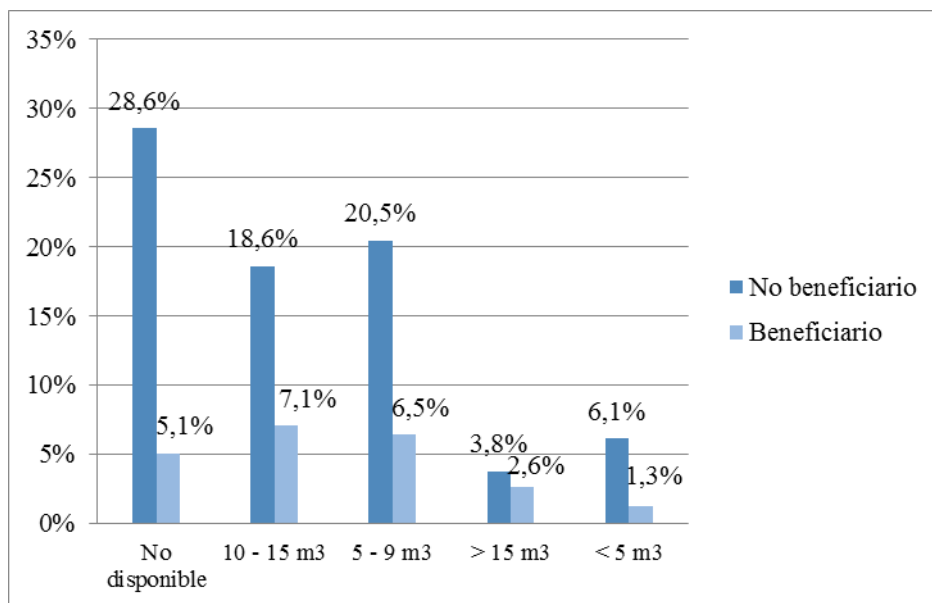
Figura 11. Estado de calefactor poseído por los postulantes



Fuente: Elaboración propia

El consumo de leña en m³ de los postulantes fue consultado a través de rangos en la ficha de postulación. De acuerdo a un contacto telefónico realizado el 27 de febrero con Paula Muñoz, profesional de la SEREMI del MMA de la región de La Araucanía y encargada de la base de datos original, nunca se preguntó el nivel exacto de consumo sino que solo se establecieron rangos. Para un 33,7% de los postulantes el consumo de leña no fue consultado, a pesar de esto igual fueron seleccionados algunos de ellos como beneficiarios. La mayoría de los postulantes y beneficiarios tienen niveles de consumo de leña entre 5 m³ y 15 m³ (ver Figura 12)

Figura 12. Consumo de leña de los postulantes

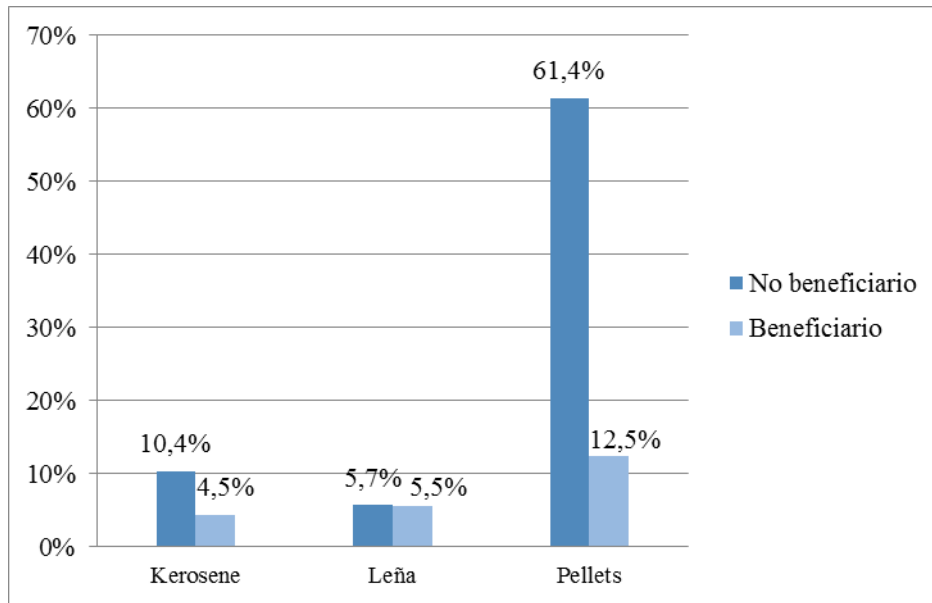


Fuente: Elaboración propia

Si se considera todo el periodo bajo análisis (2015 - 2016) se concluye que el 73,9% de los postulantes escogió una estufa a pellet, el 14,9% escogió una estufa a kerosene y el 11,3% escogió una estufa a leña certificada. Sin embargo, el tipo de calefactor escogido dependió bastante del tipo de llamado realizado en el marco de este programa (ver Tabla 8).

En términos relativos se puede mencionar que fue seleccionado como beneficiario el 49,2% de los postulantes a calefactores a leña certificados, el 30,0% de los postulantes a calefactores a kerosene, y el 16,9% de los postulantes a calefactores de pellet.

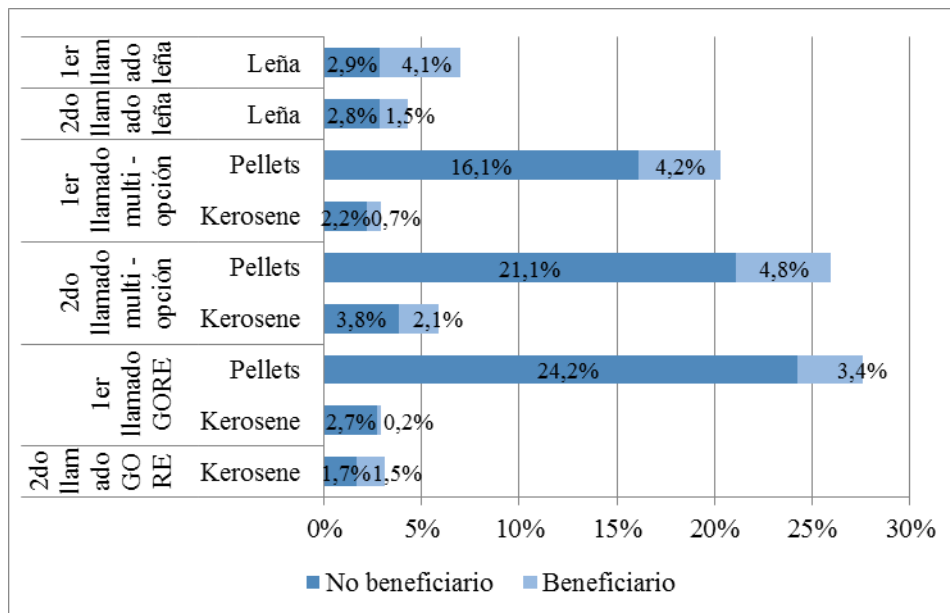
Figura 13. Tipo de calefactor escogido por los postulantes



Fuente: elaboración propia

Tal como se aprecia en la Figura 14 algunos de los llamados a postulación acotaban bastante las opciones de calefactores que se podían escoger.

Figura 14. Tipo de calefactor escogido por los postulantes según llamado



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan las características de las viviendas de los beneficiarios y no beneficiarios, las cuales incluyen la superficie, antigüedad, aislación y número de

habitaciones de la vivienda. La Tabla 9 muestra que los beneficiarios de este programa se caracterizan por tener viviendas con una superficie mayor, más antiguas, haber recibido algún subsidio SERVIU para aislación de vivienda entre 2008 y 2015, y más habitaciones.

Tabla 9. Características de las viviendas de los postulantes

	Superficie en m ²		Antigüedad en años		Subsidio SERVIU 2008-2015		N° de habitaciones	
	No beneficiario	Beneficiario	No beneficiario	Beneficiario	No beneficiario	Beneficiario	No beneficiario	Beneficiario
Media	85.38	114.72	11.80	19.20	0.16	0.49	4.88	5.49
Desv. Est.	192.36	1610.58	14.33	16.99	0.36	0.50	1.99	1.85
N° obs.	5615	1998	8957	2593	8957	2593	6240	2132

Fuente: Elaboración propia

5.1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO

El año 2009 se lanzó el programa de aislamiento térmico dirigido a viviendas de carácter social o cuyo valor no superara las 650 UF, y además, que no cumplieran con los estándares térmicos definidos en el año 2007. Si el monto del subsidio no permitía aislar el 100% de la vivienda, el beneficiario debía cancelar un copago con el fin de cubrir el presupuesto total del proyecto, este monto variaba según la superficie total de la vivienda. Sin embargo, los beneficiarios que pertenecían al 1°, 2° y 3° quintil (desde 2072 y hasta 13484 puntos en su ficha de protección social) quedaban exentos de este copago, el cual era aportado por el Estado.

Actualmente, este subsidio está destinado en primera instancia a las personas y familias de menores ingresos, pero no excluye a familias sin ficha de protección social o cuya vivienda supere las 650 UF. Además, el subsidio considera las viviendas que no están regularizadas, ya que el beneficiario puede optar a un monto adicional para financiar total o parcialmente las obras necesarias y/o las gestiones administrativas para regularizar la construcción. Para lo anterior, se realizan llamados especiales de postulación al programa de aislamiento térmico de viviendas en las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

5.1.4 ANÁLISIS DE LAS BASES DE DATOS EXISTENTES DEL PROGRAMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO

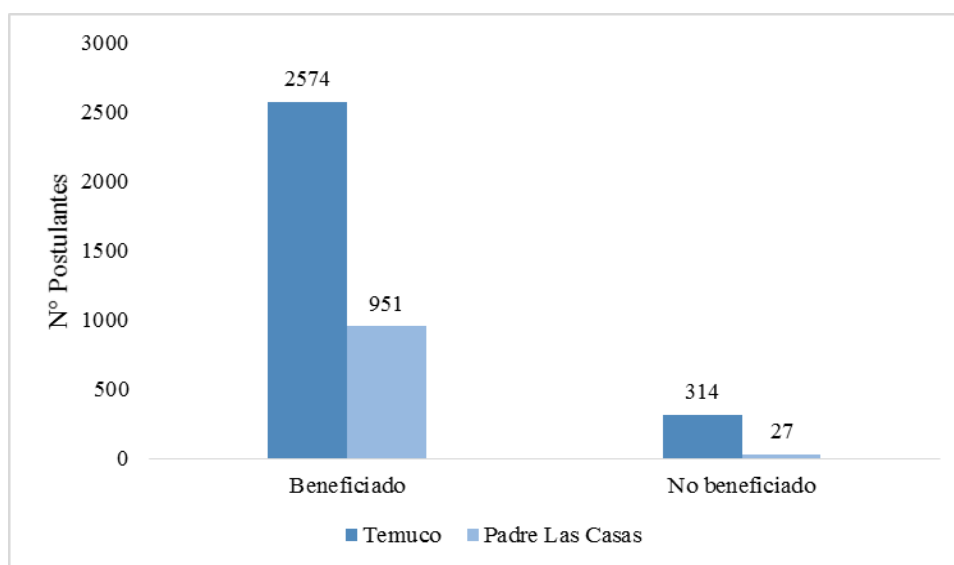
La base de datos para el programa de subsidio al aislamiento térmico de viviendas incluye los diferentes llamados realizados entre el año 2015 y 2016 a nivel nacional con 5157 postulantes pertenecientes a la región de O'Higgins, Bío Bío, La Araucanía y Aysén. El 90,8% de los postulantes recibió el beneficio a nivel nacional.

A partir de los registros disponibles en la base de datos (que también tienen carácter confidencial y no son utilizados para realizar análisis de los postulantes a nivel individual) se pueden identificar solo nombres y apellidos del postulante, RUT, comuna, dirección,

teléfono (en la minoría de los casos, con solo 12,3%), el monto del subsidio en UF y estado del postulante (beneficiado y no beneficiado).

Según los datos existentes se observa que de los 3886 postulantes en las comunas de Temuco y Padre Las Casas el 91,2% obtuvo el beneficio (ver Figura 15). Sin embargo, los postulantes de la comuna de Padre las Casas tienen una probabilidad mayor de ser beneficiados (97,2%) respecto a los postulantes de Temuco (89,1%). Aunque el porcentaje de hogares que postulan es levemente menor en Temuco (0,29%) respecto a la comuna de Padre Las Casas (0,32%)¹⁸. Además, se observa que el monto de subsidio en la zona del PDA es bastante heterogéneo, pero que el 90,1% se encuentra en el rango entre 120 UF y 240 UF (ver Figura 16).

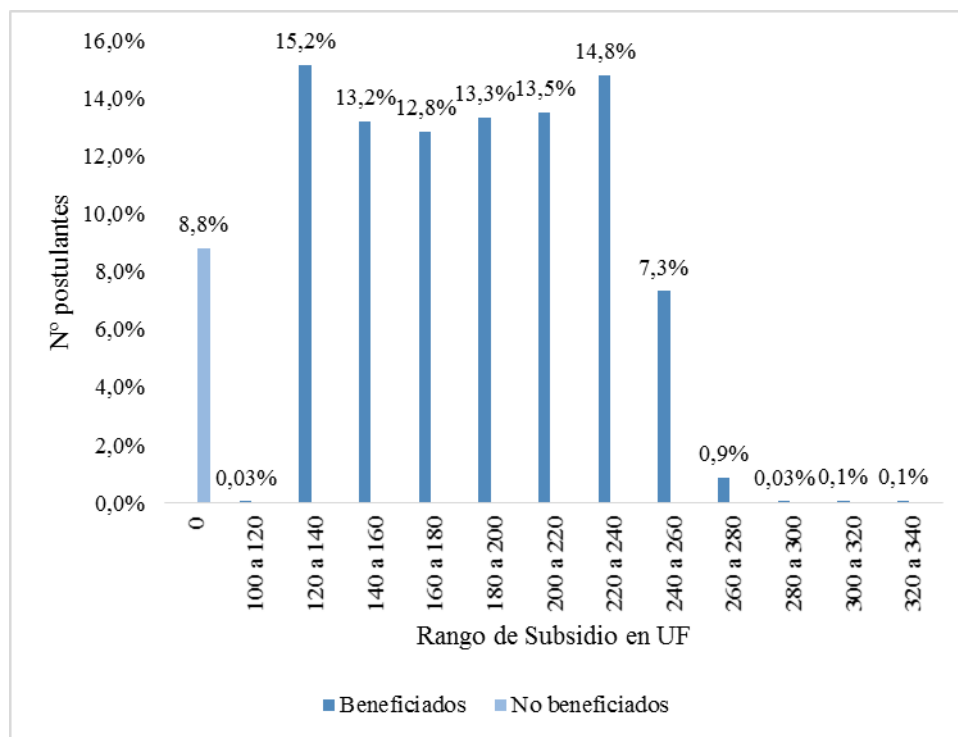
Figura 15. Número de postulantes a programa de aislación de viviendas en Temuco y Padre Las Casas años 2015 y 2016



Fuente: Elaboración propia en base a datos del MINVU

¹⁸ Porcentajes calculados a partir del número estimado de viviendas en cada comuna (SICAM-Ingeniería, 2016).

Figura 16. Monto de subsidio otorgado por el programa de aislación de viviendas en Temuco y Padre Las Casas años 2015 y 2016



Fuente: Elaboración propia en base a datos del MINVU

Cabe señalar que con esta base de datos proporcionada por el MMA no es posible identificar los criterios de selección, ni tampoco las características que poseían los postulantes que los hicieron acreedores del beneficio, lo cual hubiese sido muy útil para establecer una línea base para la evaluación ex - post.

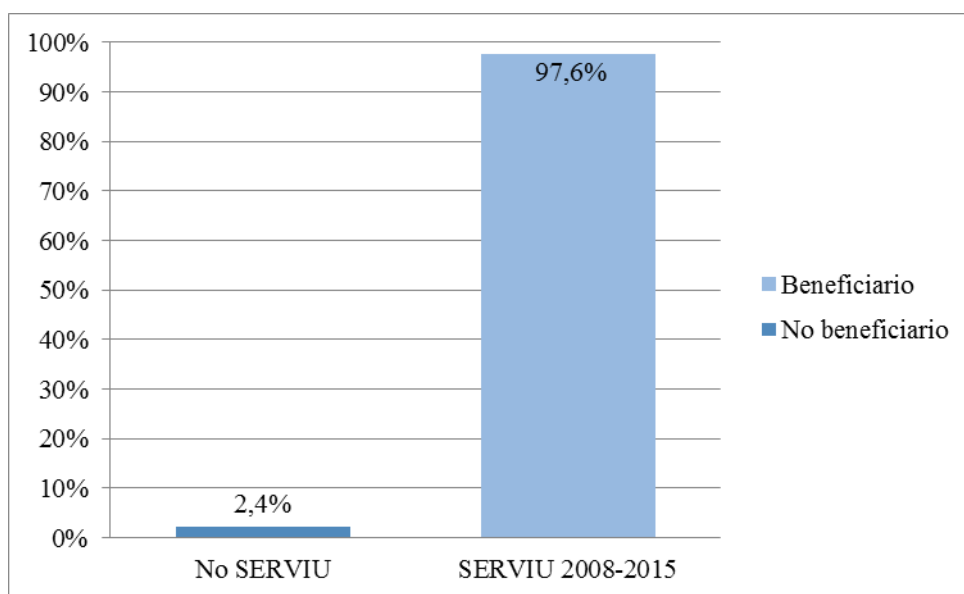
Sin embargo, como están disponibles los RUT de los postulantes se chequeó si algunos de los postulantes al programa de aislamiento térmico también habían postulado al programa de recambio de calefactores. La idea de cruzar ambas base de datos es que se podrían asignar las características de los postulantes, viviendas y consumo de leña desde la base de datos del programa de recambio de calefactores hasta los registros de la base de datos del programa de aislamiento térmico.

El resultado del cruce fue exitoso ya que del total de postulantes del programa de aislamiento térmico se obtuvieron 941 que también postularon al programa de recambio de calefactores. Este número de postulantes se redujo a 849 una vez que se chequeo que la dirección de la vivienda fuera la misma en ambos programas, ya que un número significativo de postulantes se cambió de casa. Así, al combinar ambos registros fue posible obtener una nueva base de datos para el programa de aislación con suficientes variables para caracterizar de forma más precisa a los postulantes.

Los datos muestran que de los 849 postulantes, el 81,2% participó en un llamado del año 2015 y el resto en un llamado del año 2016. El 97,6% de los postulantes fue beneficiado con el subsidio. En cuanto al estado del calefactor instalado, en estos hogares es calificado como “bueno” en el 36,3% de los casos; “regular” en el 45,5%, mientras que la calificación de estado “malo” solo en el 18,2% de la muestra. A su vez, el 74,2% de los postulantes vivían en Temuco y el 25,8% en Padre Las Casas.

Todos los postulantes no beneficiados entre el año 2015 y 2016 se caracterizan porque sus viviendas no fueron beneficiadas por un subsidio de aislación SERVIU entre los años 2008 a 2015 (ver Figura 17).

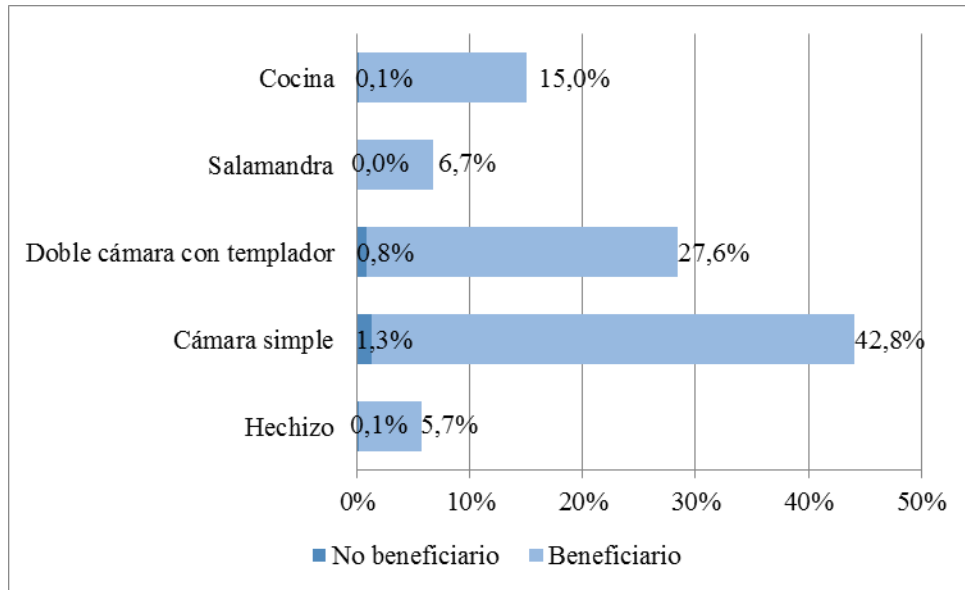
Figura 17. Tipo de aislación de las viviendas de los postulantes al programa de aislación



Fuente: Elaboración propia

La gran mayoría de los postulantes poseen estufas de cámara simple (44,1%), doble cámara (28,4%) y cocina a leña (15,1%). Los postulantes que poseen estufa de doble cámara y cámara simple fueron beneficiados en un 97,1%, los postulantes que poseen artefactos hechizos fueron beneficiados en un 98,0%, los postulantes que poseen salamandras fueron beneficiados en un 100%, y los postulantes que poseen cocinas a leña fueron beneficiados en un 99,2%.

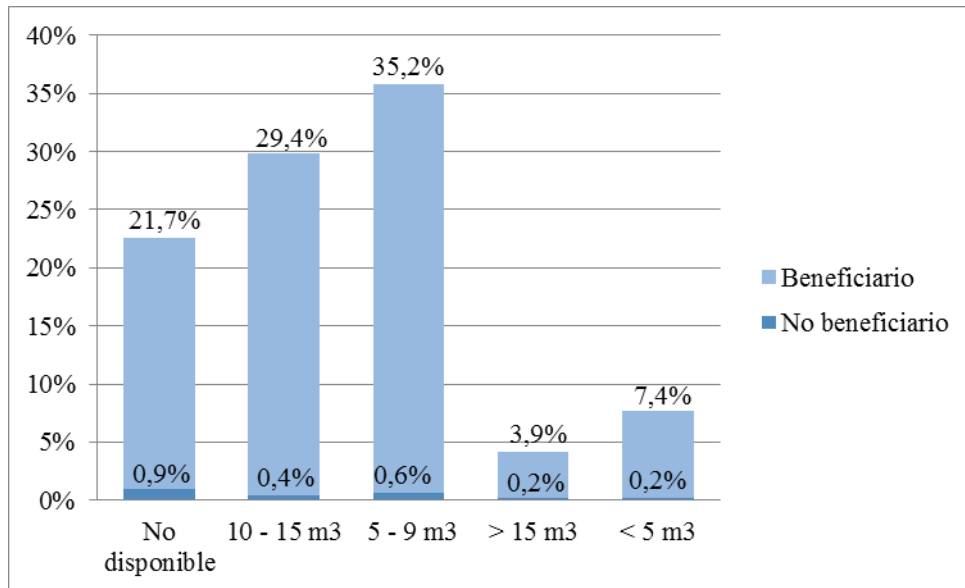
Figura 18. Tipo de calefactor instalado en las viviendas de los postulantes al programa de aislación



Fuente: Elaboración propia

Para un 22,6% de los postulantes el consumo anual de leña no fue consultado, pero la mayoría de los postulantes y beneficiarios tienen niveles de consumo de leña entre 5 m³ y 15 m³ (Ver Figura 19).

Figura 19. Consumo de leña en las viviendas de los postulantes al programa de aislación



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 10 se muestra que los beneficiarios del programa de aislamiento térmico se caracterizan por tener viviendas con una superficie mayor, casas más antiguas, mayor presencia de viviendas con algún subsidio de aislación SERVIU entre 2008 - 2015 y más habitaciones.

Tabla 10. Características de las viviendas de los postulantes del programa de aislación

	Superficie en m ²		Antigüedad en años		Subsidio SERVIU 2008-2015 ¹⁹		N° de habitaciones	
	No beneficiario	Beneficiario	No beneficiario	Beneficiario	No beneficiario	Beneficiario	No beneficiario	Beneficiario
Media	63.08	93.35	9.65	15.62	0.15	0.67	4.80	5.21
Desv. Est.	17.24	407.25	11.01	13.42	0.36	0.47	1.26	1.53
N° obs.	12	637	20	829	20	829	15	691

Fuente: elaboración propia

5.1.5 ANÁLISIS DE LA UTILIDAD DE LAS BASES DE DATOS EXISTENTES PARA REALIZAR UNA EVALUACIÓN EX - POST

Las bases de datos proporcionadas por el MMA registran a los hogares que por iniciativa propia decidieron responder a los diferentes llamados a postulación. Así, se descarta de inmediato la opción de utilizar estos datos para un diseño experimental de alguno de estos programas ya que la autoselección de los participantes impediría estimar correctamente el impacto del tratamiento.

Como ambos programas se basan en llamados y los hogares deciden postular de forma voluntaria, las únicas alternativas de evaluación ex – post corresponden a un diseño cuasi – experimental o no experimental. Así, los elementos críticos que debería contener la base de datos para desarrollar la evaluación ex – post de ambos programas es conocer el consumo de leña que poseía el postulante y las características de aislación de la vivienda antes del programa. Ambas bases de datos contienen esta información aunque no de forma tan precisa como se hubiese deseado, y además, algunos registros de postulantes no poseen estos datos.

De todas formas a partir de la combinación de ambas base de datos se pudo establecer una línea base para un subconjunto de los postulantes a ambos programas. Cabe señalar que la base de datos con la cual se pretende establecer la línea base no tiene tantas variables caracterizadoras pero el número de observaciones es alto, por lo cual utilizarla es una opción bastante atractiva. Otra información que hubiese sido útil es aquella asociada a una más detallada caracterización del consumo de leña y humedad de la leña utilizada pero no fueron consultadas en las bases de datos disponibles.

¹⁹ En la base de datos solo se pregunta si la vivienda obtuvo un subsidio de aislación SERVIU entre 2008-2015. Es necesario señalar que una vivienda que obtuvo un subsidio de aislación previamente si puede postular nuevamente a otro subsidio complementario, ya que estos subsidios han sufrido modificaciones y mejoras de estándares en el tiempo..

Así, con esta información de línea base solo sería necesario tener una ronda de seguimiento de los mismos hogares para desarrollar una evaluación ex - post, ya sea con el método de diferencias en diferencias o *matching*. En el caso del programa de recambio de calefactores existe un registro con el puntaje obtenido por el postulante en el proceso de selección, lo cual hubiese sido útil para realizar el método de regresión discontinua, pero lamentablemente el puntaje de corte no fue el mismo en cada llamado ya que dependía de los recursos disponibles y número de postulantes, y además, en algunos llamados hubo problemas en el cálculo de los puntajes. En el caso particular de la base de datos de línea base consolidada en este estudio, se puede mencionar que para el programa de aislación térmica de viviendas existen muy pocos registros de postulantes no beneficiados, por lo cual podrían utilizarse como controles a hogares que postularon al programa de recambio de calefactores y que no fueron seleccionados en ese programa. Para validar esta última alternativa, se puede mencionar que si se utiliza la base de datos consolidada de ambos programas y se incluyen solo los datos de hogares que postularon al programa de recambio de calefactores, es posible concluir que en ese subgrupo de postulantes aquellas viviendas que también fueron favorecidas con el programa de aislación térmica de viviendas tienen en promedio 1,4 pisos, 5,2 habitaciones y 112,9 m² de superficie, mientras que las viviendas que no obtuvieron este beneficio tienen en promedio 1,5 pisos, 4,9 habitaciones y 83,1 m² de superficie. En consecuencia, como las características de las viviendas son relativamente similares un método de *matching* permitiría encontrar dentro del grupo de control propuesto a las unidades con características más similares al grupo de tratamiento. Finalmente, es necesario aclarar que toda metodología de evaluación ex – post no experimental se basa en utilizar información que aun cuando no es la ideal, sí se caracteriza por estar disponible al momento de la evaluación cumpliendo las características de ser útil y factible de obtener a bajo costo, tal como en la alternativa propuesta.

5.2 VARIABLES QUE DETERMINAN LA PROBABILIDAD DE SER BENEFICIARIO

Para calcular la probabilidad de ser beneficiario se estima un modelo *probit* sobre la variable binaria que indica el estado del postulante (beneficiado o no beneficiado) en base a un vector de variables explicativas que componen las características del postulante y su hogar.

A continuación se presenta la estadística descriptiva de las variables utilizadas para modelar la probabilidad de ser beneficiario del programa de recambio de calefactores. Tal como se aprecia en la Tabla 11 el tamaño del grupo familiar, consumo en m³ y la superficie en m² reducen el número de observaciones válidas desde 11550 hasta aproximadamente 7 mil.

También, se observa que una fracción significativa de los postulantes no fueron beneficiados con el programa de recambio de calefactores (87,5%), lo cual permitiría tener un amplio número de postulantes para construir un potencial grupo de control si se utilizan los registros de línea base de las bases de datos proporcionadas por el MMA. Cabe señalar, que la variable consumo de leña fue transformada de rangos a una variable continua

tomando el valor promedio del rango²⁰, con el procedimiento anterior se obtiene un consumo anual promedio de 9,8 m³.

Tabla 11. Estadística descriptiva del programa recambio de calefactores

Variable	N° Obs	Media	Desv. Est.	Min	Max
Beneficiario	11550	0,2245	0,4173	0,0000	1,0000
Grupo familiar de 1 a 2 personas	7168	0,2254	0,4179	0,0000	1,0000
Grupo familiar de 3 a 4 personas	7168	0,5681	0,4954	0,0000	1,0000
Grupo familiar de 5 o más personas	7168	0,2065	0,4048	0,0000	1,0000
Grupo familiar con mayores de 60	7662	0,3764	0,4845	0,0000	1,0000
Elige kerosene	11550	0,1486	0,3557	0,0000	1,0000
Elige pellets	11550	0,7389	0,4393	0,0000	1,0000
Elige leña	11550	0,1126	0,3161	0,0000	1,0000
Consumo en m ³	7662	9,8414	4,0731	2,5000	17,5000
Calefactor antiguo regular	11550	0,4129	0,4924	0,0000	1,0000
Calefactor antiguo bueno	11550	0,4251	0,4944	0,0000	1,0000
Calefactor antiguo malo	11550	0,1620	0,3685	0,0000	1,0000
Ubicación 2do piso	11550	0,0016	0,0405	0,0000	1,0000
Ubicación sala de estar	11550	0,0175	0,1311	0,0000	1,0000
Ubicación pasillo	11550	0,0561	0,2301	0,0000	1,0000
Ubicación living-comedor	11550	0,7560	0,4295	0,0000	1,0000
Ubicación entrada	11550	0,0260	0,1591	0,0000	1,0000
Ubicación dormitorio	11550	0,0045	0,0669	0,0000	1,0000
Ubicación cocina	11550	0,1148	0,3188	0,0000	1,0000
Ubicación escalera	11550	0,0016	0,0405	0,0000	1,0000
Ubicación ampliación	11550	0,0004	0,0208	0,0000	1,0000
Cambiar ubicación de equipo	11550	0,2184	0,4132	0,0000	1,0000
Propietario de vivienda	11550	0,9888	0,1051	0,0000	1,0000
Calefactor hechizo	11550	0,0624	0,2419	0,0000	1,0000
Calefactor cocina	11550	0,0974	0,2965	0,0000	1,0000
Calefactor doble cámara con templador	11550	0,3426	0,4746	0,0000	1,0000
Calefactor cámara simple	11550	0,4411	0,4965	0,0000	1,0000
Comuna de Temuco	11550	0,8088	0,3932	0,0000	1,0000
N° de pisos	11550	1,4584	0,4992	1,0000	3,0000
N° de habitaciones	8372	5,0344	1,9723	1,0000	18,0000
Antigüedad	11550	13,4587	15,2813	0,0000	111,0000
Aislación SERVIU 2008-2015	11550	0,2303	0,4210	0,0000	1,0000
Superficie m ²	7604	78,21	33,68	18,0000	800,0000

Fuente: Elaboración propia

A partir de estos datos se estimaron modelos dicotómicos del tipo *probit* para determinar qué variables explicativas son capaces de caracterizar mejor la probabilidad de ser beneficiario del programa de recambio de calefactores.

Se decidió estimar la probabilidad de ser beneficiado según llamado ya que algunas variables relacionadas con el tamaño del grupo familiar fueron cambiando con el tiempo

²⁰ Para el rango de consumo menor a 5 m³ se utilizó un valor promedio de 2,5 m³, para el rango de consumo mayor a 5 m³ y menor a 10 m³ se utilizó un valor promedio de 7,5 m³, para el rango de consumo mayor a 10 m³ y menor a 15 m³ se utilizó un valor promedio de 12,5 m³, y finalmente, para el rango de consumo mayor a 15 m³ se utilizó un valor promedio de 17,5 m³.

por lo que no están presentes en todos los llamados a postulación, y además, en algunos llamados los tipos de combustibles de los calefactores fueron distintos (pellets y kerosene, solo leña, o bien, pellet, kerosene y leña). En la Tabla 12 se presentan los resultados para el primer y segundo llamado, los procesos de selección realizados por el GORE no son incluidos ya que la variable de interés asociada al consumo de leña no fue consultada en ellos. Cabe señalar que para cada llamado se estima un modelo con todas las variables caracterizadoras y un modelo de forma reducida que solo incluye las variables que fueron estadísticamente significativas.

Tabla 12. Modelos *Probit* para determinar probabilidad de ser beneficiario del programa de recambio de calefactores, según llamado

Variable	Primer llamado				Segundo llamado							
	Coef.	Des. Est.		Coef.	Des. Est.		Coef.	Des. Est.		Coef.	Des. Est.	
Grupo familiar de 5 o más personas	0,3320	0,1110	**	0,2280	0,0841	**	0,1130	0,0710				
Grupo familiar de 3 a 4 personas	0,1640	0,0933					0,0288	0,0596				
Grupo familiar con mayores de 60	1,2810	0,0834	**	1,2600	0,0807	**	0,8470	0,0513	**	0,8090	0,0447	**
Elige leña		0,4970	0,0806	**	0,2600	0,0705	**
Elige pellets	0,2630	0,1090	*	0,2560	0,1080	*	-0,2070	0,0694	**	-0,2300	0,0650	**
Consumo en m ³	0,0794	0,0093	**	0,0777	0,0090	**	0,0429	0,0061	**	0,0371	0,0055	**
Calefactor antiguo regular	0,2550	0,0804	**	0,2440	0,0784	**	0,3660	0,0541	**	0,3910	0,0511	**
Calefactor antiguo malo	0,4040	0,1130	**	0,4000	0,1060	**	0,5880	0,0690	**	0,5670	0,0631	**
Ubicación pasillo	0,1560	0,2730					0,3150	0,2100		0,3590	0,1410	*
Ubicación living-comedor	0,3380	0,2330					0,3380	0,1830		0,3480	0,1020	**
Ubicación cocina	0,4480	0,2620					0,2590	0,1970		0,3110	0,1200	**
Ubicación entrada	0,6380	0,3020	*				-0,0449	0,2690				
Ubicación 2do piso	-0,5920	0,7590					-0,1940	0,4750				
Ubicación sala de estar	0,2320	0,3250					0,1980	0,2700				
Ubicación dormitorio	0,3810	0,4940					-0,9120	0,5580				
Ubicación escalera	0,1390	0,7520					0,4720	0,5700				
Ubicación ampliación	1,3750	0,8550					.	.				
Cambiar ubicación de equipo	0,1900	0,0956	*	0,1830	0,0869	*	0,0484	0,0617				
Comuna de Temuco	0,1190	0,0940					0,0217	0,0610				
Propietario de vivienda	0,1700	0,3250					.	.				
Calefactor hechizo	0,1730	0,2060					0,0219	0,1250				
Calefactor cocina	-0,2140	0,2150					-0,1850	0,1210		-0,1780	0,0862	*
Calef. doble cámara con templador	-0,7290	0,1840	**	-0,7500	0,0865	**	-0,6800	0,1100	**	-0,7650	0,0759	**
Calefactor cámara simple	0,0531	0,1730					-0,2410	0,1030	*	-0,3100	0,0649	**
Nº de habitaciones	0,0902	0,0193	**	0,0801	0,0182	**	0,0763	0,0136	**	0,0866	0,0119	**
Antigüedad	0,0084	0,0027	**	0,0084	0,0026	**	0,0006	0,0017				
Aislación SERVIU 2008-2015	1,8220	0,0859	**	1,7860	0,0822	**	0,9310	0,0522	**	0,9860	0,0473	**
Superficie m ²	-0,0001	0,0013					-0,0013	0,0009				
Nº de pisos	-0,0988	0,0788					-0,0513	0,0508				
Constante	-4,3430	0,4840	**	-3,6410	0,2010	**	-2,2000	0,2490	**	-2,2390	0,1570	**
Nº obs.	2664			2685			4409			4976		
Pseudo R ²	0,4180			0,4090			0,2920			0,2760		

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que tener un grupo familiar grande de 5 o más personas afectó positivamente la obtención del beneficio en el primer llamado pero no en el segundo. Pero mucho más importante fue que en el grupo familiar existiera al menos una persona de más de 60 años. En el primer llamado los postulantes que eligieron la opción de calefactor a pellet tuvieron más probabilidad de ser elegidos que aquellos que optaron por calefactor a kerosene, mientras que en el segundo llamado los postulantes que optaron por un calefactor a leña certificado tuvieron más probabilidades que los postulantes que escogieron un calefactor a kerosene, y los postulantes que escogieron un calefactor a pellets tuvieron menos probabilidades de ser beneficiados que los que escogieron un calefactor a kerosene. Los postulantes que declararon tener un calefactor malo tuvieron más probabilidades de ser escogidos que aquellos que declararon tener un calefactor en estado regular, pero estos a su vez, tenían más probabilidades de ser escogidos que aquellos que declararon tener un calefactor bueno. En el segundo llamado los postulantes que tenían instalado su antiguo calefactor en el living-comedor, cocina o pasillo tuvieron más probabilidades de ser beneficiados, pero en el primer llamado estas variables no fueron relevantes para explicar la obtención del beneficio. En el primer llamado aquellos postulantes que deseaban cambiar la ubicación de su calefactor tenían más probabilidad de ser beneficiados, pero en el segundo llamado esta variable no fue relevante. En el primer llamado los postulantes con calefactores de doble cámara con templador tuvieron menos probabilidad de ser escogidos, en el segundo llamado ocurrió esto mismo pero aquellos postulantes que tenían calefactores de cámara simple o cocinas a leña vieron reducida la probabilidad de ser escogidos. En ambos llamados los postulantes que tenían viviendas con mayor número de habitaciones y habían obtenido un subsidio de aislación SERVIU 2008-2015 incrementaron la probabilidad de ser beneficiados, mientras que en el primer llamado también fue relevante la antigüedad de la vivienda. Finalmente, se puede mencionar que la medida de ajuste de los modelos está reflejada en el *Pseudo R²* que es mucho más alto en el primer llamado, esto significa que las variables explicativas tienen mejor poder predictivo con estos datos.

En la Tabla 13 se presenta un resumen de las variables que fueron estadísticamente significativas para explicar la probabilidad de ser beneficiario.

Tabla 13. Resumen de variables significativas para explicar la probabilidad de ser beneficiario del programa de recambio de calefactores

Variables significativas	Primer llamado	Segundo llamado
Grupo familiar de 5 o más personas	Sí	No
Grupo familiar con mayores de 60	Sí	Sí
Elige leña	No	Sí
Elige pellets	Sí	Sí
Consumo en m ³	Sí	Sí
Calefactor antiguo regular	Sí	Sí
Calefactor antiguo malo	Sí	Sí
Ubicación pasillo	No	Sí
Ubicación living-comedor	No	Sí
Ubicación cocina	No	Sí
Ubicación entrada	Sí	No
Cambiar ubicación de equipo	Sí	No
Calefactor cocina	No	Sí
Calefactor doble cámara con templador	Sí	Sí
Calefactor cámara simple	No	Sí
N° de habitaciones	Sí	Sí
Antigüedad	Si	No
Aislación SERVIU 2008-2015	Si	Si

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 14 se presenta la estadística descriptiva de las variables originales disponibles para el programa de aislamiento térmico. Se puede observar que existen muy pocas variables para caracterizar adecuadamente a los postulantes, solo el año de postulación y la comuna del postulante.

Tabla 14. Estadística descriptiva de programa de aislamiento térmico con la base de datos original

Variable	N° Obs	Media	Desv. Est.	Min	Max
Beneficiario	3866	0,9118	0,2836	0,0000	1,0000
Año 2016	3866	0,3725	0,4835	0,0000	1,0000
Comuna de Temuco	3866	0,7470	0,4348	0,0000	1,0000

Fuente: elaboración propia

El 91,1% de los postulantes fueron beneficiarios por este programa, así que las observaciones para establecer un grupo de control son muy pocas. En consecuencia, los resultados del modelo *probit* para determinar la probabilidad de ser beneficiario deben ser tomados con precaución.

Específicamente, la Tabla 15 muestra que los postulantes de los llamados realizados durante el año 2016 tuvieron mayor probabilidad de ser beneficiados respecto a los postulantes del año 2015, mientras que aquellos que pertenecían a la comuna de Temuco tuvieron menos probabilidades que los postulantes de la comuna Padre las Casas. Además, el poder explicativo del modelo medido por el *Pseudo R*² es relativamente bajo.

Tabla 15. Modelo *Probit* para determinar probabilidad de ser beneficiario en programa de aislamiento térmico con la base de datos original

Variable	Coef.	Des. Est.
Llamado año 2016	1,2371	0,1053 **
Comuna de Temuco	-0,6621	0,0908 **
Constante	1,6485	0,0852 **
N° obs.	3866	
<i>Pseudo R</i> ²	0,1298	

Fuente: elaboración propia

Al empalmar los RUT de los postulantes de la base de datos del programa de aislación térmica de viviendas con los RUT de los postulantes del programa de recambio de calefactores, y luego de chequear que ambos RUT tenían la misma ubicación de la vivienda (en algunos casos no coincidió), se pudo consolidar una base de datos con 849 postulantes a ambos programas. Esta nueva base de datos permite caracterizar al grupo familiar del postulante y su vivienda.

En la Tabla 16 se presenta la estadística descriptiva de las variables empalmadas disponibles para el programa de aislamiento térmico. Se puede observar que existen muchas más variables para caracterizar adecuadamente a los postulantes, respecto a las variables de la base de datos original presentadas en la Tabla 14. Sin embargo, el número de observaciones válidas es casi un cuarto de la base de datos original. Además, el porcentaje de postulantes beneficiados sube al 97,6%, por lo cual se reducen considerablemente las posibilidades de generar un grupo de control adecuado. Por lo anterior, los resultados del modelo *probit* deben ser interpretados con precaución.

Tabla 16. Estadística descriptiva de programa de aislamiento térmico con la base de datos consolidada

Variable	N° Obs.	Media	Desv. Est.	Min	Max
Beneficiario	849	0,9764	0,1518	0,0000	1,0000
Grupo familiar de 5 o más personas	621	0,2110	0,4083	0,0000	1,0000
Grupo familiar de 3 a 4 personas	621	0,5072	0,5004	0,0000	1,0000
Grupo familiar con mayores de 60	657	0,3516	0,4778	0,0000	1,0000
Elige leña	849	0,2933	0,4555	0,0000	1,0000
Elige pellets	849	0,5889	0,4923	0,0000	1,0000
Consumo en m ³	404	7,5619	3,5656	2,5000	17,5000
Calefactor antiguo regular	849	0,4547	0,4982	0,0000	1,0000
Calefactor antiguo malo	849	0,1826	0,3865	0,0000	1,0000
Ubicación 2do piso	849	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ubicación sala de estar	849	0,0059	0,0766	0,0000	1,0000
Ubicación pasillo	849	0,0424	0,2016	0,0000	1,0000
Ubicación living-comedor	849	0,7715	0,4201	0,0000	1,0000
Ubicación entrada	849	0,0082	0,0905	0,0000	1,0000
Ubicación dormitorio	849	0,0024	0,0485	0,0000	1,0000
Ubicación cocina	849	0,1649	0,3713	0,0000	1,0000
Ubicación escalera	849	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ubicación ampliación	849	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Propietario de vivienda	849	0,9965	0,0594	0,0000	1,0000
Calefactor hechizo	849	0,0577	0,2333	0,0000	1,0000
Calefactor cocina	849	0,1508	0,3580	0,0000	1,0000
Calefactor doble cámara con templador	849	0,2839	0,4511	0,0000	1,0000
Calefactor cámara simple	849	0,4405	0,4967	0,0000	1,0000
Comuna de Temuco	849	0,7538	0,4310	0,0000	1,0000
N° de habitaciones	706	5,1997	1,5247	1,0000	9,0000
Antigüedad	849	15,4817	13,3953	0,0000	111,0000
Aislación SERVIU 2008-2015	849	0,6584	0,4745	0,0000	1,0000
Superficie m ²	645	63,4155	29,7622	21,0000	655,0000
N° de pisos	849	1,4087	0,4943	1,0000	3,0000
Cambiar ubicación de equipo	849	0,2438	0,4296	0,0000	1,0000

Fuente: Elaboración propia

Para modelar la probabilidad de ser beneficiado con el programa de aislamiento térmico se consideran dos escenarios, el primero incluye los datos de todos los llamados a postulación, y el segundo considera solo los datos de los llamados realizados el año 2015. Cabe señalar que los datos de los llamados del año 2016 no permiten realizar ninguna estimación ya que todos los postulantes del subgrupo incluido en esta base de datos obtuvo el beneficio, por lo cual el modelo no puede estimar la probabilidad de no ser beneficiado. Adicionalmente, se

estima un modelo *probit* con todas las variables disponibles y otro modelo *probit* de forma reducida que incluye solo las variables que fueron estadísticamente significativas.

Los resultados de la Tabla 17 muestran que la única variable relevante para explicar la probabilidad de ser beneficiario del programa es que la vivienda haya obtenido un subsidio de aislación SERVIU entre los años 2008-2015. Cabe señalar que como los subsidios de aislación han ido cambiando en el tiempo, una vivienda que obtuvo un subsidio previamente no impide que obtenga un nuevo subsidio que complemente el nivel de aislación. Finalmente, se puede mencionar que a pesar que el número de observaciones es reducido el poder explicativo del modelo se incrementa cuando se incluye el nivel de aislación de la vivienda.

Tabla 17. Modelo *Probit* para determinar probabilidad de ser beneficiario en programa de aislamiento térmico con la base de datos consolidada

Variable	Todos los llamados				Llamados año 2015			
	Coef.	Desv. Est.	Coef.	Desv. Est.	Coef.	Desv. Est.	Coef.	Desv. Est.
Grupo familiar de 5 o más personas	0,4330	0,5600			0,5270	0,5770		
Grupo familiar de 3 a 4 personas	-0,2100	0,3770			-0,1570	0,3960		
Grupo familiar con mayores de 60	-0,0148	0,4140			-0,0173	0,4400		
Consumo en m ³	-0,0428	0,0446			-0,0449	0,0484		
Calef. doble cámara con templador	-0,4480	0,3820			-0,4370	0,4030		
Calefactor antiguo regular	0,3210	0,4040			0,3030	0,4130		
Calefactor antiguo malo	-0,1210	0,4810			-0,1660	0,4930		
N° de habitaciones	-0,0476	0,1100			-0,0640	0,1190		
Antigüedad	-0,0016	0,0194			-0,0035	0,0195		
Aislación SERVIU 2008-2015	1,1350	0,4440 *	0,9850	0,2330 **	1,3000	0,4630 **	1,1640	0,2400 **
Superficie m ²	0,0052	0,0096			0,0061	0,0106		
N° de pisos	-0,5410	0,3700			-0,5940	0,3970		
Constante	2,8230	1,1590 *	1,5660	0,1180 **	2,8220	1,2930 *	1,3470	0,1280 **
N° Obs.	370		849		326		689	
<i>Pseudo R</i> ²	0,1930		0,1200		0,2190		0,1640	

Fuente: elaboración propia

5.3 RECOPIACIÓN Y UNIFICACIÓN DE BASES DE DATOS CON POSTULANTES, PRESELECCIONADOS Y SELECCIONADOS

A partir de las bases de datos procesadas y revisadas en la sección anterior se procedió a unificarlas. Esta nueva base de datos no es la simple suma de 11550 registros del programa de recambio de calefactores más los 3866 registros del programa de aislamiento térmico, ya que aquellos postulantes que participaron en ambos programas fueron fusionados en un solo registro (una sola fila en la base de datos), también hay algunos registros del programa de aislamiento que fueron empalmados con las mismas características porque postularon

varias veces a este mismo programa. A su vez algunos postulantes del programa de recambio de calefactores también postularon varias veces a este mismo programa. Por lo anterior, la base de datos unificada para ambos programas solo tiene 14736 registros.

En esta nueva base de datos existe una columna que permite identificar a los postulantes preseleccionados, renunciados, listas de espera y beneficiarios del programa de recambio de calefactores. Para el caso del programa de aislamiento solo se identifica a los postulantes beneficiarios o no beneficiarios, pero a la vez se puede saber si postularon al programa de recambio de calefactores y su condición (preseleccionados, renunciados, listas de espera y beneficiarios).

En esta base de datos existen 9390 registros con correo electrónico, todos ellos provienen del registro del programa de recambio de calefactores y de este total 313 pudieron ser asignados a los registros de aislamiento térmico de viviendas. También, existen 9766 registros con teléfonos fijos aunque por algunas numeraciones es difícil creer que todos estén bien digitados. Adicionalmente, existen registros de los teléfonos celulares de otros postulantes que no declararon teléfono fijo, igual que en el caso anterior algunos números parecieran no ser válidos. Así, existiría un potencial máximo de 11830 postulantes con número telefónicos, esto hubiese permitido conseguir la información de seguimiento para la evaluación ex – post a través de encuestas telefónicas o bien a través de encuestas online. Sin embargo, al momento de realizar la propuesta técnica no se tenían antecedentes sobre el alto número de números telefónicos o emails que estaban disponibles en los registros oficiales de los programas, por lo cual no se implementó esta opción.

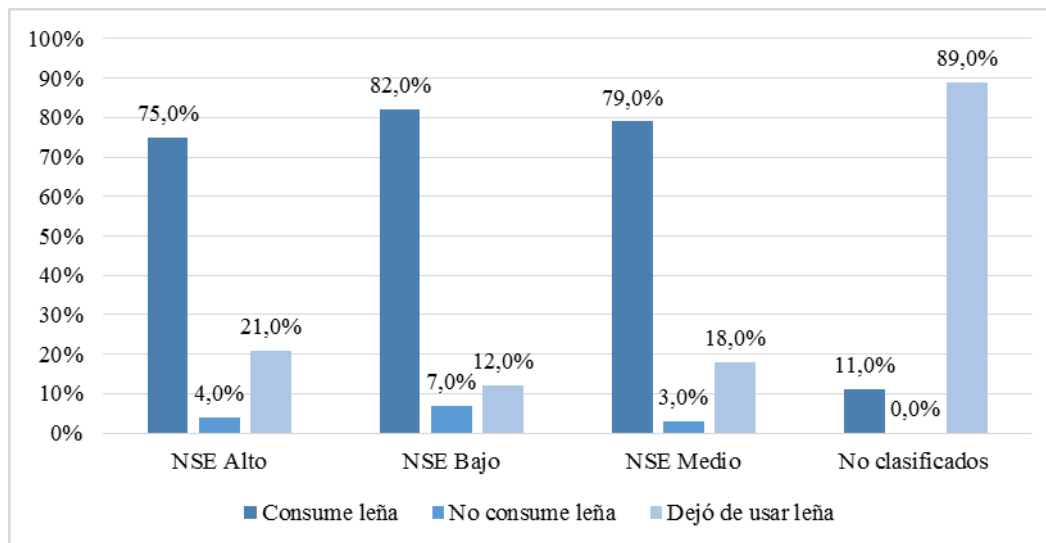
5.4 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDIOS SOBRE USO DE LEÑA Y OTROS ENERGÉTICOS

En esta sección se revisan los estudios disponibles de uso de leña proporcionados por el MMA.

El estudio “Ejecución de Encuesta sobre Consumo de Leña Residencial en las Comunas de Temuco y Padre Las Casas, Región de La Araucanía” fue ejecutado por la Universidad de La Frontera (2010) y ha sido el más utilizado para la evaluación de políticas ambientales en Temuco y Padre Las Casas. Este estudio tuvo un diseño muestral inicial de 2004 hogares (87% en Temuco y 13% en Padre Las Casas). Sin embargo, un 13% de las encuestas no pudieron ser realizadas por negación del entrevistado, ausencia de moradores y casas inexistentes. De las 1737 encuestas efectivamente realizadas, un 64% de los entrevistados declararon consumir leña, 4% habían dejado de usarla y 32% nunca la había usado.

El consumo de leña es similar independientemente del nivel socioeconómico, ya que los hogares de estrato socioeconómico alto, medio y bajo utilizan leña en un 75%, 79% y 82%, respectivamente (ver Figura 20). El mayor uso de la leña es realizado en los meses fríos, tanto en el uso para cocinar (79%) como para calefaccionar (94%).

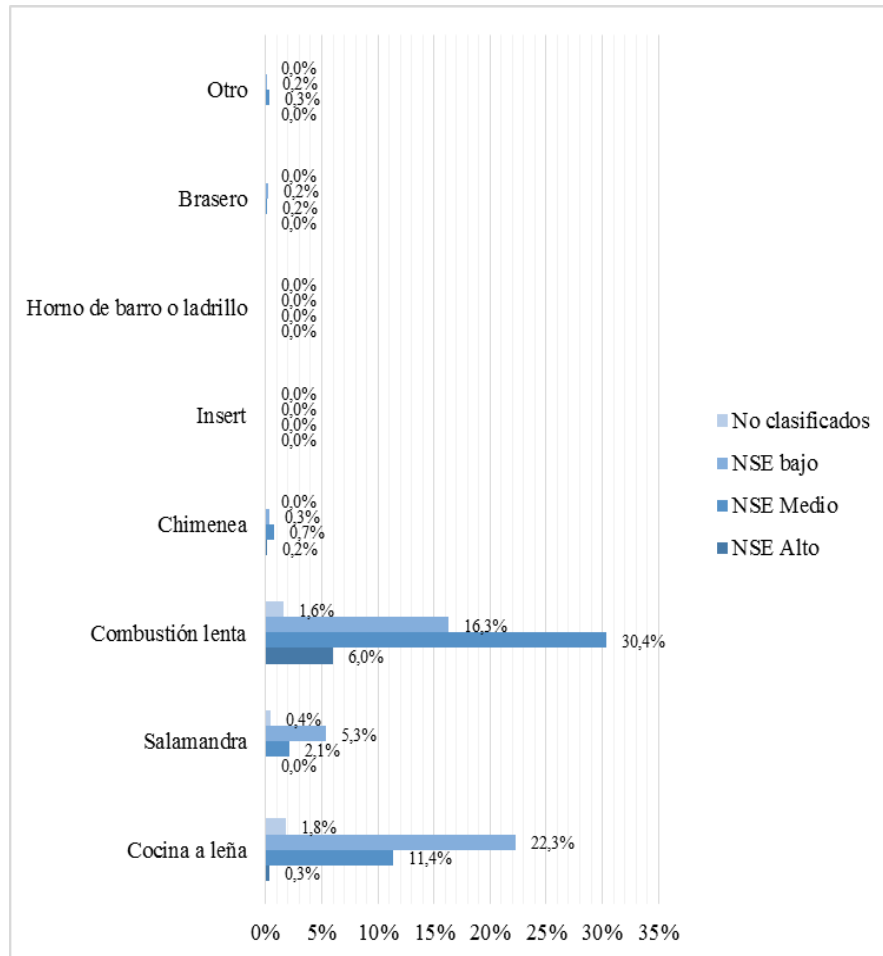
Figura 20. Uso de leña según nivel socioeconómico en Temuco y Padre Las Casas



Fuente: Universidad de La Frontera (2010)

La Figura 21 muestra que en el estrato socioeconómico alto y medio los hogares utilizan más equipos de combustión lenta que cocinas a leña, pero esta relación se invierte en el estrato socioeconómico bajo.

Figura 21. Tipo de artefacto según nivel socioeconómico (primer artefacto) en Temuco y Padre Las Casas

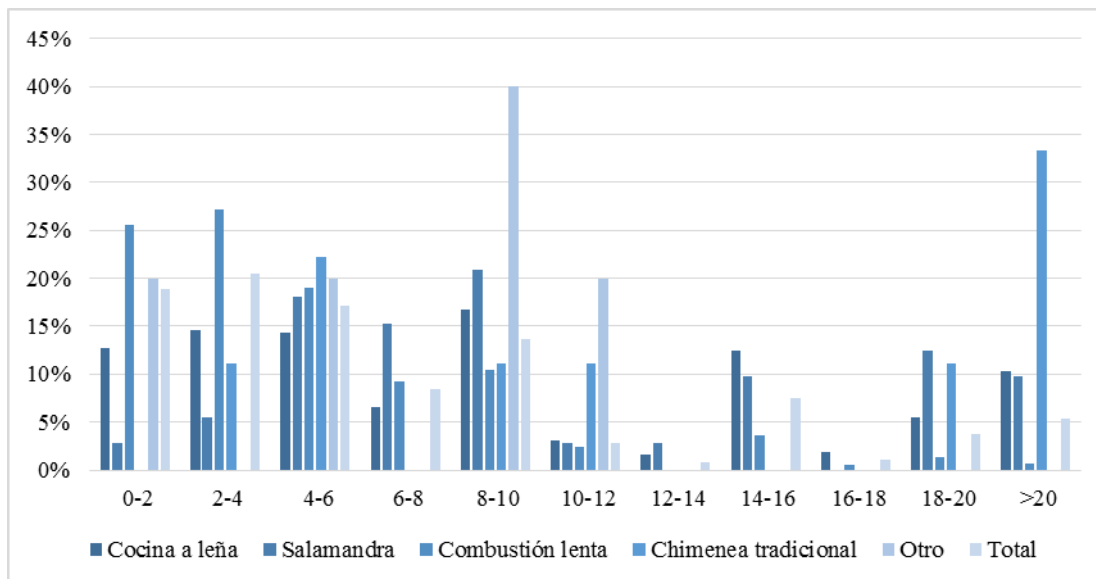


Fuente: Universidad de La Frontera (2010)

Cuando se analiza la participación de los artefactos en cada estrato, se concluye que el 62% del total de artefactos utilizados en el estrato socioeconómico bajo corresponde a cocinas a leña, en el estrato medio es un 32% y en el estrato alto un 5%.

La Figura 22 muestra la heterogeneidad en la antigüedad de los calefactores según tipo. El 72% de las estufas a combustión lenta tienen una antigüedad menor a 6 años, mientras que en las cocinas a leña su antigüedad varía notablemente.

Figura 22. Antigüedad de artefactos a leña según tipo en Temuco y Padre Las Casas



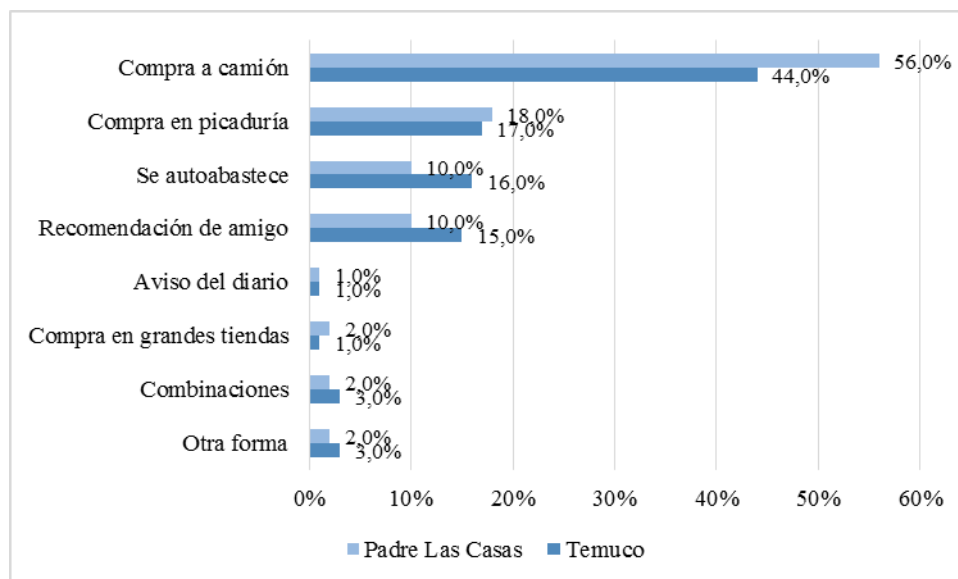
Fuente: Universidad de La Frontera (2010)

El 74% de los encuestados utilizan solo leña, principalmente hualle con un uso de 78% en Temuco y 69% en Padre Las Casas. Algunos encuestados también afirman utilizar otros combustibles en sus artefactos como restos de madera sin pintura (15%), restos de madera con pintura (6%) y briquetas (5%).

En Temuco el 51% de los encuestados deja funcionando su equipo durante toda la noche, mientras un 34% de los entrevistados lo hace en Padre Las Casas. Si se considera solo aquellos que dejan funcionando el equipo en la noche, el 86% cierra el tiraje al mínimo en Temuco y el 82% en Padre Las Casas.

La Figura 23 muestra las formas más usuales para comprar leña. De acuerdo a los datos la mayoría de los encuestados en Temuco y Padre Las Casas adquieren la leña a camiones, también es usual la compra en picadurías, el auto-abastecimiento y las recomendaciones de amigos.

Figura 23. Formas de adquisición de leña en Temuco y Padre Las Casas



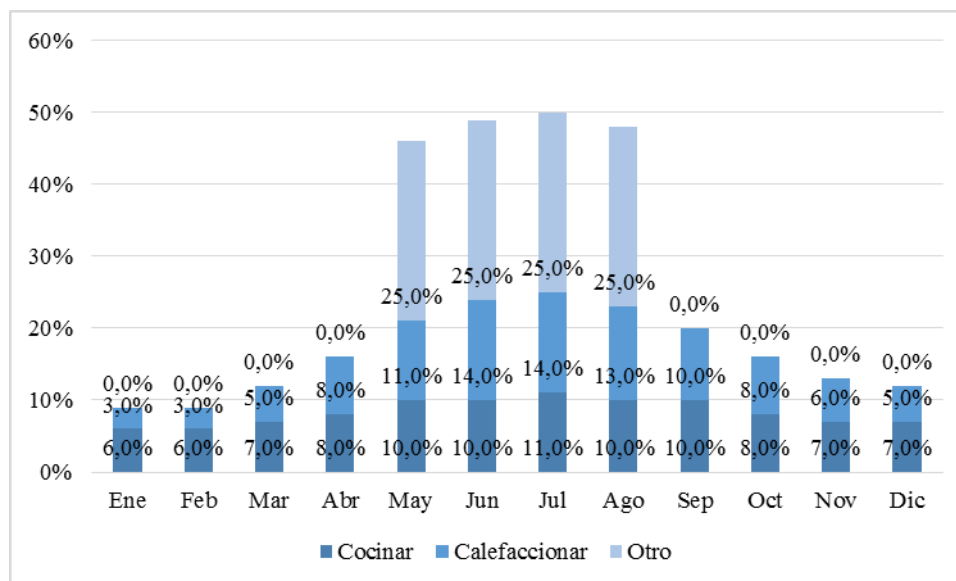
Fuente: Universidad de La Frontera (2010)

Respecto a la frecuencia de compra, la mayoría de los entrevistados compra leña una vez al año (55% en Temuco y 60% en Padre Las Casas), también se adquiere usualmente de forma mensual (14% en Temuco y 16% en Padre Las Casas) y dos veces al año (13% en Temuco y 12% en Padre Las Casas).

El consumo promedio anual es 8,9 m³ en Temuco y 8,0 m³ en Padre Las Casas. El 74% de los entrevistados en Temuco afirma que adquiere leña seca y un 22% leña semi – húmeda, mientras que en Padre Las Casas el 79% de los encuestados afirma adquirir la leña seca y un 15% consume leña semi – húmeda. Para determinar que la leña está seca el principal criterio utilizado por los hogares es a través del peso de la leña. Además, en Temuco el 67% de los encuestados guarda la leña bajo techo y el 13% cubierta pero al aire libre, en Padre Las Casas el 59% de los encuestados guarda la leña bajo techo y el 34% cubierta pero al aire libre. Finalmente, el tiempo de secado contribuye a que el 91% de los encuestados en Temuco afirme usar leña seca y un 9% leña mezclada, mientras que en Padre Las Casas el 94% afirme usar leña seca y el 6% leña mezclada.

El consumo mensual de leña se presenta en la Figura 24, donde se observa que los meses de mayor consumo son mayo, junio, julio y agosto.

Figura 24. Consumo mensual de leña según tipo de uso en Temuco y Padre Las Casas



Fuente: Universidad de La Frontera (2010)

En general, los encuestados mantienen encendidos sus artefactos a leña entre las 7:00 y las 24:00 horas durante los días de la semana, pero la mayoría de ellos afirman que la utilizan entre las 19:00 a 23:00 horas.

La principal razón para usar leña según los encuestados es lo barato de este combustible (70% en Temuco y 88% en Padre Las Casas). Sin embargo, en el año que fue realizada la encuesta el 41% de los entrevistados estaban dispuestos a cambiar su actual artefacto a leña por uno más eficiente y menos contaminante. Aquellos que no estaban dispuestos argumentaban que no poseían los recursos, porque ya tenían un buen calefactor o simplemente no les interesaba. Los encuestados que estaban menos dispuestos a cambiar sus artefactos eran aquellos que poseían cocinas a leña (89% en Temuco y 66% en Padre Las Casas).

Para estimar el consumo total de leña para ambas comunas el estudio de la Universidad de La Frontera (2010) utiliza el promedio de consumo anual de los hogares encuestados (1737 viviendas). Así, el promedio para Temuco es 5,8 m³ y para Padre Las Casas es 4,8 m³, incluyendo aquellos que consumen o no consumen leña. En consecuencia, utilizando el número proyectado de viviendas para ambas comunas se obtiene un consumo total de 579385 m³ (512835 m³ en Temuco y 66550 m³ en Padre Las Casas).

Otro estudio relevante para la evaluación de políticas ambientales fue realizado por CENMA (2010) titulado “Actualización del Inventario de Emisiones de Temuco y Padre Las Casas”. Para calcular las emisiones del sector residencial se utilizaron los resultados del estudio de la Universidad de La Frontera (2010) sobre consumo promedio, tipos de calefactores y patrones de uso de leña, pero se sensibilizaron los resultados con un escenario pesimista debido a que los datos de humedad reportados en la encuesta de

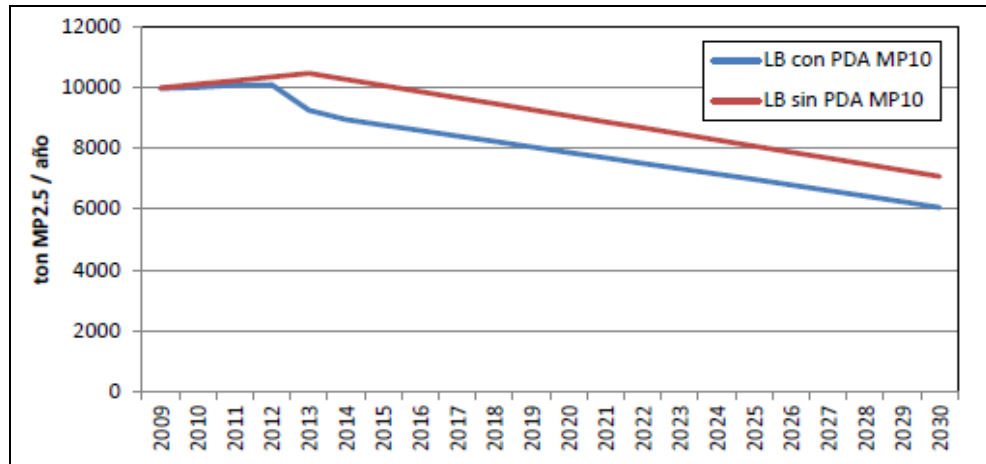
consumo podrían reflejar la preferencia de los hogares o estimaciones subjetivas debido a la alta participación de leña seca. Así, se definió una estimación de emisiones en un escenario optimista (61% de leña seca, 6% de leña semi – húmeda y 33% de leña húmeda) y otro pesimista (22% de leña seca, 38% de leña semi – húmeda y 40% de leña húmeda). Además, se recalculó la proyección del consumo de leña para ambas comunas con diferentes supuestos a los utilizados por la Universidad de La Frontera (2010), estimando un volumen de 653990 m³, lo que reflejó un aumento de 13,6% respecto de los valores estimados para un inventario previo realizado el año 2005.

De acuerdo a las estimaciones de ambos escenarios para el MP₁₀ y MP_{2,5} las emisiones se producen mayoritariamente por la utilización de equipos de combustión lenta y la mala utilización de estos artefactos (tiraje cerrado). En el escenario optimista existe una estimación de 8903 ton/año de MP₁₀ y 8653 ton/año de MP_{2,5} en Temuco y una estimación de 994 ton/año de MP₁₀ y 966 ton/año de MP_{2,5} en Padre Las Casas. Mientras que en el escenario pesimista existe una estimación de 9875 ton/año de MP₁₀ y 9602 ton/año de MP_{2,5} en Temuco y una estimación de 1132 ton/año de MP₁₀ y 1111 ton/año de MP_{2,5} en Padre Las Casas.

Al incluir el resto de las fuentes emisoras puntuales y de área a las emisiones residenciales calculadas en el escenario pesimista, se concluye que las fuentes residenciales aportan un 94,1% de las emisiones de MP₁₀ y 95,8% de MP_{2,5}. Cabe señalar que este nuevo inventario con año base 2009 constituyó una mejora al inventario previo del año 2005 ya que se incluyó una mayor tipología de fuentes y se ejecutó una encuesta actualizada sobre el consumo de leña.

Finalmente, la encuesta de consumo de leña realizada por la Universidad de La Frontera (2010) también fue utilizada para establecer la línea base de las emisiones del sector residencial en el estudio “Análisis Detallado de Medidas para Incorporar al Plan de Descontaminación por MP_{2,5} de Temuco y Padre Las Casas” realizado por GreenLabUC (2013). El mencionado estudio asume una tasa natural de recambio de 4% anual, que los equipos a leña comprados después del año 2014 cumplen con la normativa vigente para artefactos a leña a nivel nacional, que el número de viviendas se incrementa 1446 unidades por año y que la tipología de viviendas en la zona es igual a la nacional dejando fuera las tipologías ausentes en la zona pero manteniendo las proporciones en el resto que sí está presente, y además, que el equipo nuevo emite 1,5 g/h. La Figura 25 muestra la evolución de las emisiones residenciales de MP_{2,5} proyectadas considerando la implementación del antiguo PDA para MP₁₀ y la línea base sin su implementación. El cambio de tendencia que se observa en el año 2014 es producto principalmente de la nueva normativa para calefactores a leña, pero también aportan en menor magnitud los programas de recambio de calefactores, aislamiento térmico de viviendas y prohibición de chimeneas.

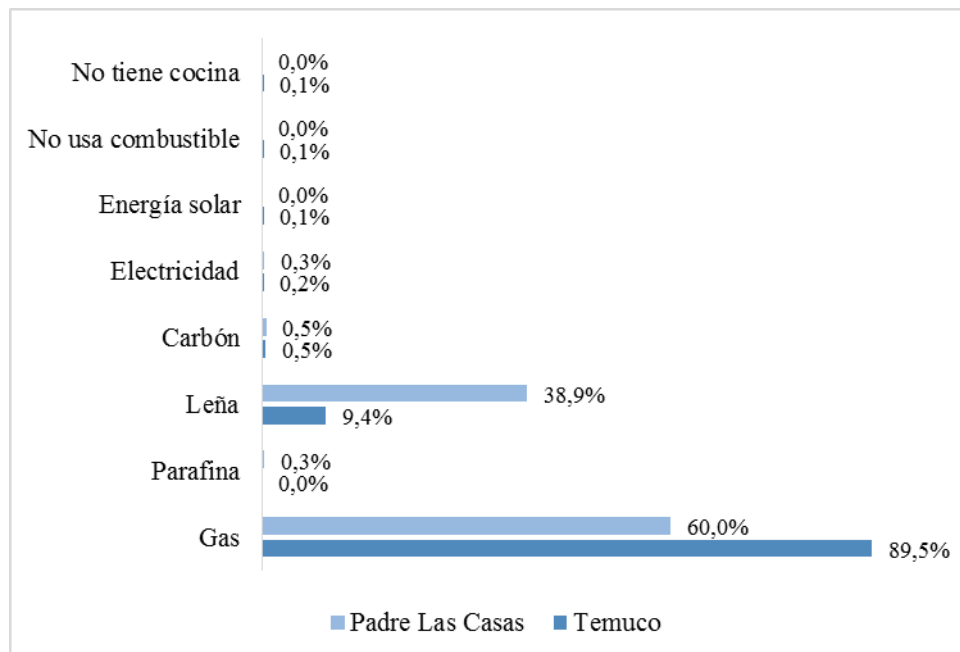
Figura 25. Evolución de emisiones residenciales de MP_{2,5} con y sin PDA de Temuco



Fuente: GreenLabUC (2013)

Información más reciente sobre la utilización de leña en Temuco y Padre Las Casas puede ser obtenida al procesar los datos de la Encuesta CASEN 2015. Esta versión de la encuesta no consulta por el consumo promedio de leña pero sí por los diferentes tipos de energéticos utilizados para cocinar y calefaccionar el hogar. La Figura 26 muestra que la mayoría de los hogares utiliza gas para cocinar pero que la utilización de leña es más frecuente en la comuna de Padre Las Casas respecto a Temuco.

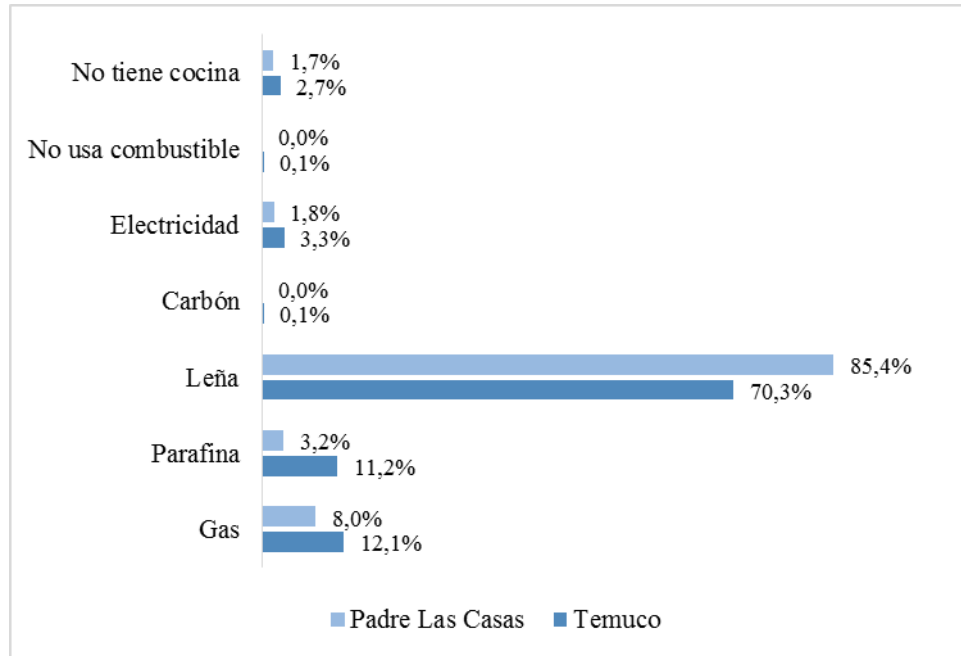
Figura 26. Combustible utilizado para cocinar en Temuco y Padre Las Casas



Fuente: Elaboración propia en base a datos de CASEN (2015)

Sin embargo, la Figura 27 muestra que la leña es por lejos el combustible más utilizado para calefacción en las viviendas de esta zona.

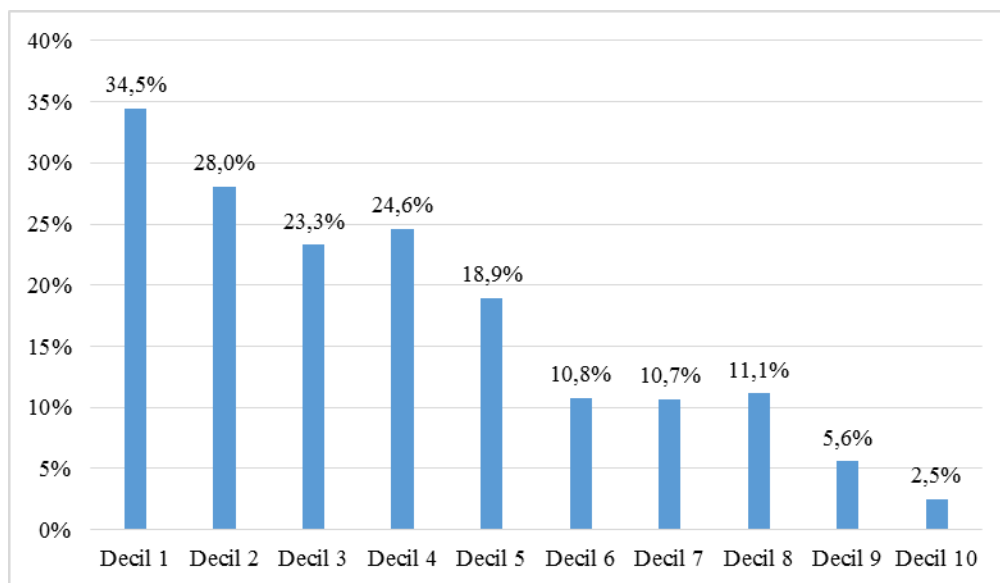
Figura 27. Combustible utilizado para calefacción en Temuco y Padre Las Casas



Fuente: Elaboración propia en base a datos de CASEN (2015)

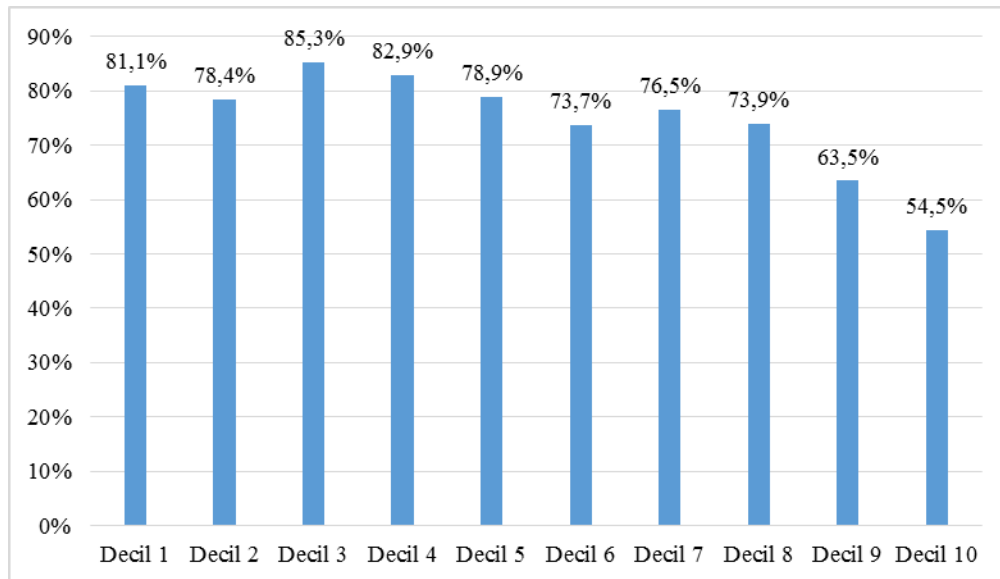
Otro análisis interesante que se puede hacer con estos datos es evaluar el uso de leña según decil de ingreso. En donde se aprecia que la utilización de leña para cocinar está inversamente relacionado con el decil de ingreso (ver Figura 28) pero que la utilización de leña para calefacción muestra que esta relación inversa solo se aprecia más claramente para los hogares del decil 9 y decil 10 (ver Figura 29).

Figura 28. Utilización de leña para cocinar según decil de ingreso en Temuco y Padre Las Casas



Fuente: Elaboración propia en base a datos de CASEN (2015)

Figura 29. Utilización de leña para calefacción según decil de ingreso



Fuente: Elaboración propia en base a datos de CASEN (2015)

Por el lado de la oferta de leña, se puede mencionar que de acuerdo a SICAM (2016) la inexistencia de registros sobre el comercio de leña en el centro - sur de Chile impide estimar el número de oferentes que abastece la demanda residencial. Sin embargo, un catastro realizado por el Sistema Nacional de Certificación de Leña (SNCL) permitió caracterizar y georeferenciar a 683 oferentes entre la región de O'Higgins y Aysén, de

acuerdo a este mismo estudio al agregar la oferta de leña certificada por el SNCL y la identificada por CONAF existiría aproximadamente un volumen de leña seca certificada de solo 19000 m³ en la región de La Araucanía, lo que está muy lejos de satisfacer la demanda en la zona. Posteriormente, SICAM (2016) en base a algunos supuestos establece que la brecha entre la oferta (87923 m³) y la demanda (621166 m³) de leña seca en Temuco es 606%.

5.5 RECOPIACIÓN DE VARIABLES METEOROLÓGICAS Y OTRAS VARIABLES RELEVANTES

5.5.1 VARIABLES METEOROLÓGICAS

Las variables meteorológicas útiles para este estudio se relacionan con aquellas características que pueden influenciar el consumo de leña, emisiones o niveles de concentraciones de material particulado. En este sentido, las bajas temperaturas motivan el mayor uso de leña para calefacción en invierno, mientras que la lluvia y el incremento en la velocidad del viento ayudan a reducir las concentraciones de contaminantes.

La información meteorológica de Chile con periodicidad mensual por zona geográfica está disponible en los Anuarios del Medio Ambiente del INE, la cual es proporcionada por la Dirección Meteorológica de Chile. El anuario más reciente es del año 2016 y contiene información del año 2015, por lo que está demasiado desfasada en relación a los requerimientos del presente estudio.

Por otra parte, el sitio web de la Dirección Meteorológica de Chile permite obtener la información histórica de las estaciones de la región de la Araucanía en formato .csv desde el año 2014 a 2017. Sin embargo, no tiene datos para diversos meses o incluso años completos²¹. Además, para realizar una evaluación ex – post se requieren datos históricos para un periodo más largo, incluso sería preferible desde antes de la implementación del PDA para MP₁₀ del año 2010.

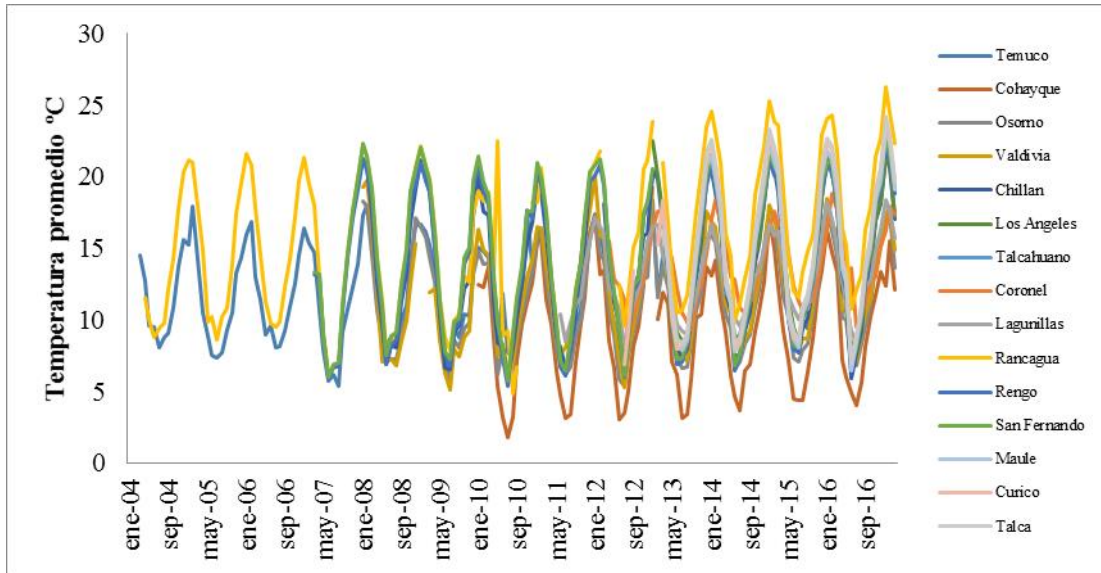
La otra alternativa para conseguir datos meteorológicos mensuales es utilizar los registros de las estaciones de monitoreo del SINCA. En este caso existen registros horarios y diarios, los cuales pueden ser transformados fácilmente en una planilla de cálculo a registros mensuales o anuales. El periodo de inicio de los registros en cada estación de monitoreo es muy variable ya que depende de los problemas de contaminación en cada zona y la priorización de los recursos disponibles para la instalación de estas estaciones.

En la Figura 30 se observa que desde el año 2004 hasta el año 2007 solo hay dos comunas con datos de temperaturas (Temuco y Rancagua), a partir del año 2008 existen siete comunas (Temuco, Osorno, Valdivia, Chillán, Rancagua, Rengo y San Fernando), y a partir

²¹ <http://164.77.222.61/RedEmaNacional/php/VisorMMA.php?codigoNacional=380013>
<http://164.77.222.61/RedEmaNacional/php/VisorMMA.php?codigoNacional=380033>
<http://164.77.222.61/RedEmaNacional/php/VisorMMA.php?codigoNacional=380032>
<http://164.77.222.61/RedEmaNacional/php/VisorMMA.php?codigoNacional=380029>

de 2013 existen 13 comunas (Temuco, Coyhaique, Osorno, Valdivia, Chillán, Los Ángeles, Coronel, Rancagua, Rengo, San Fernando, Maule, Talca y Curicó).

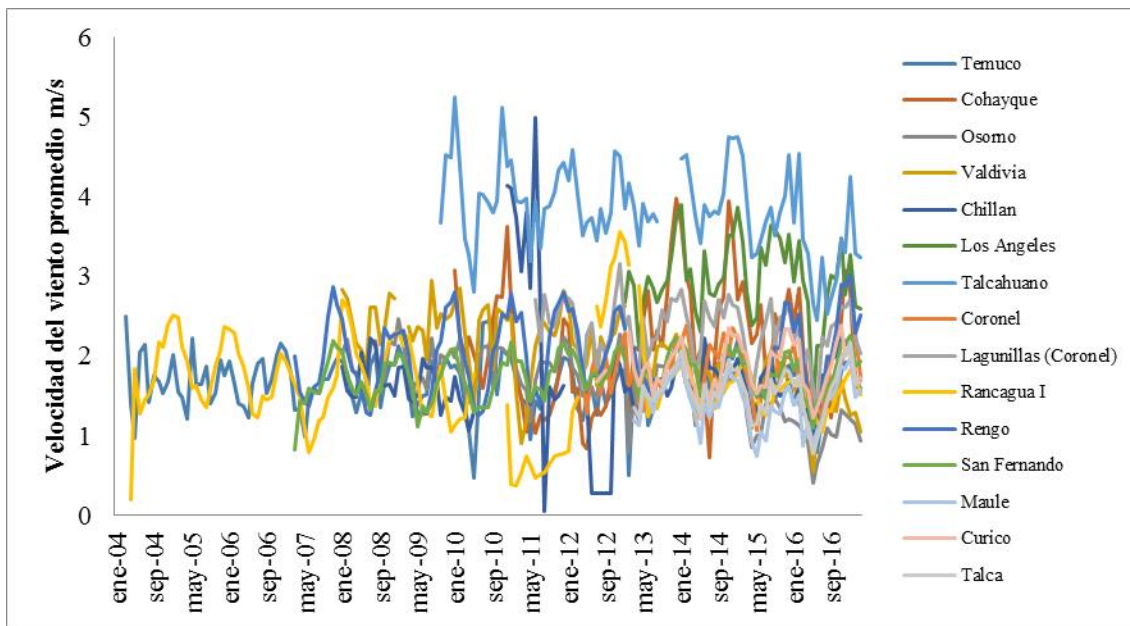
Figura 30. Temperatura mensual en estaciones de monitoreo zona centro - sur



Fuente: Elaboración propia en base a SINCA

En la Figura 31 se observa que la disponibilidad de información para la velocidad del viento es muy similar a la disponibilidad de datos sobre temperatura.

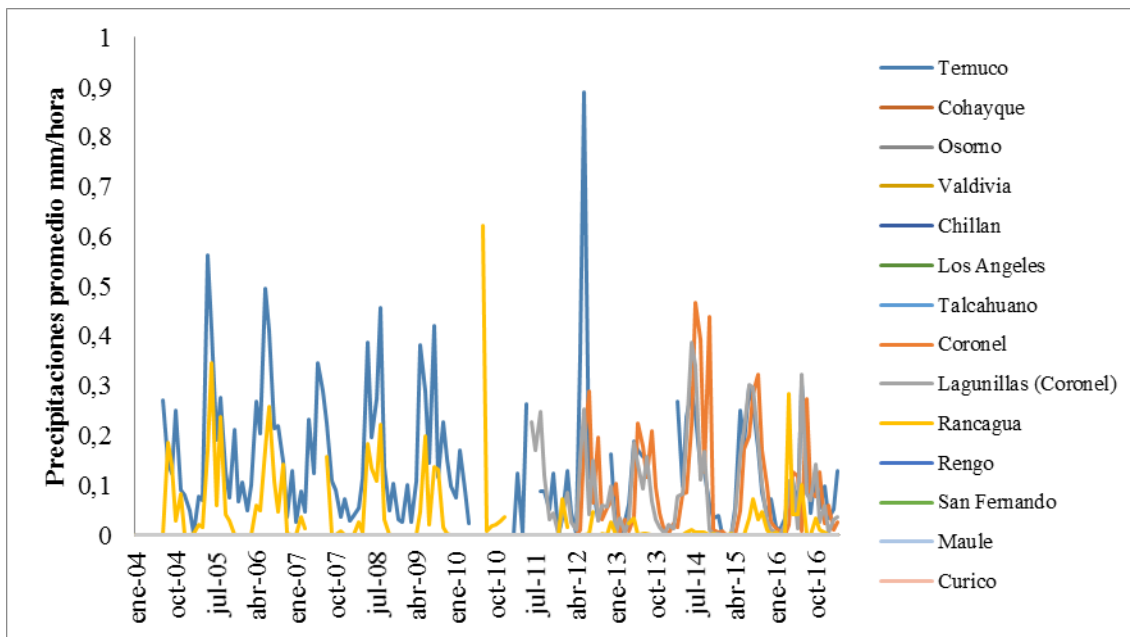
Figura 31. Velocidad del viento mensual en estaciones de monitoreo zona centro – sur



Fuente: Elaboración propia en base a SINCA

En la Figura 32 se observa que desde el año 2004 hasta el año 2010 solo hay dos comunas con datos de precipitaciones (Temuco y Rancagua) y a partir del año 2011 existen solo tres comunas (Temuco, Coronel y Rancagua).

Figura 32. Precipitaciones mensuales en estaciones de monitoreo zona centro - sur



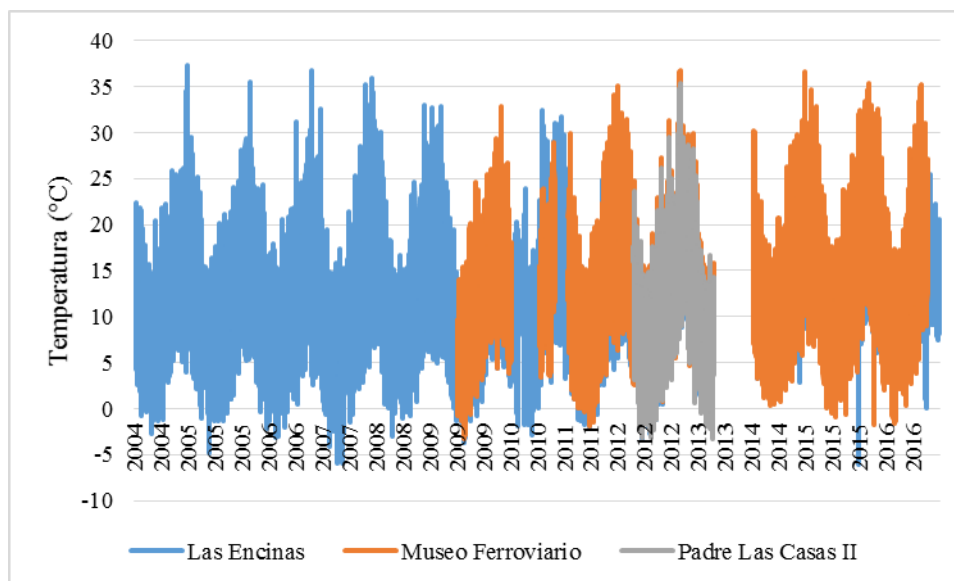
Fuente: Elaboración propia en base a SINCA

Considerando todos los antecedentes previos es posible concluir que existe disponibilidad suficiente para incluir solo las variables meteorológicas de temperatura y viento. Estos datos son útiles como variables explicativas considerando la metodología de diferencias en diferencias que se propone utilizar para la evaluación ex – post del PDA como una política consolidada.

En el caso de la evaluación ex – post del programa de gestión de episodios críticos la información meteorológica que se requiere es horaria debido a que las prohibiciones de utilización de calefactores a leña se realizan en ciertas horas del día en el cual se decreta episodio crítico. Cabe señalar que estos datos solo se requieren para las estaciones de monitoreo de Temuco y Padre Las Casas.

La Figura 33 muestra que la estación de monitoreo Las Encinas posee la información más antigua de las temperaturas ya que sus datos parten el año 2004, en la estación Museo Ferroviario los datos están disponibles desde el año 2009, y en la estación Padre Las Casas II los datos comienzan el año 2012. También, se observa que existe un periodo sin datos en todas las estaciones para algunos meses entre el año 2013 y 2014.

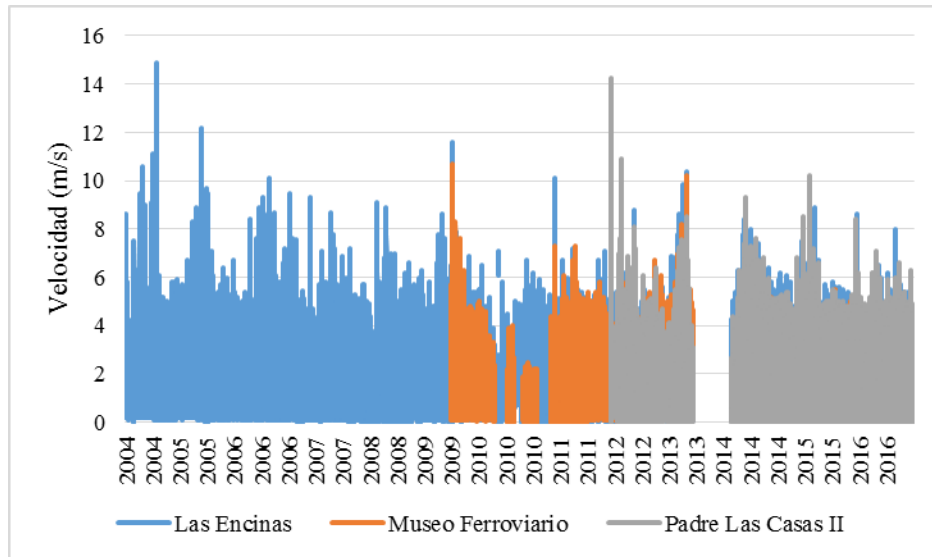
Figura 33. Temperaturas horarias en estaciones de monitoreo de Temuco y Padre Las Casas



Fuente: Elaboración propia en base a SINCA

La Figura 34 muestra los datos de velocidad del viento. En este caso la disponibilidad de datos es muy similar a la reportada en la figura anterior para las temperaturas, y también, existe un periodo sin datos en todas las estaciones para algunos meses entre el año 2013 y 2014.

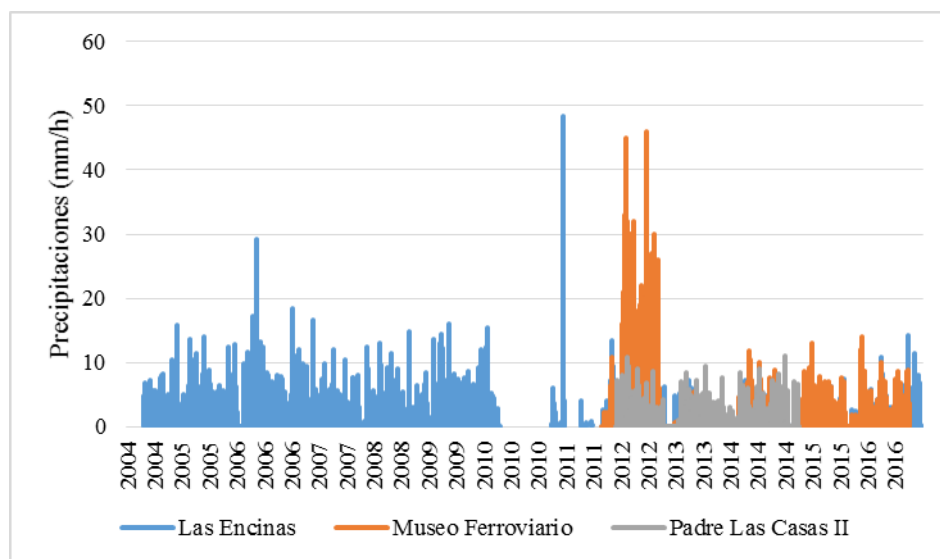
Figura 34. Velocidad del viento horaria en estaciones de monitoreo de Temuco y Padre Las Casas



Fuente: Elaboración propia en base a SINCA

Al igual que en los casos anteriores, la Figura 35 muestra que la información histórica es de más larga data para la estación de monitoreo Las Encinas, mientras que para las estaciones Museo Ferroviario y Padre Las Casas II los datos comienzan el año 2012. A diferencia de las figuras previas, en la estación Las Encinas se observa un período sin datos para algunos meses del año 2010.

Figura 35. Precipitaciones horarias en estaciones de monitoreo de Temuco y Padre Las Casas



Fuente: Elaboración propia en base a SINCA

A partir del análisis previo sobre la información meteorológica disponible se concluye que para realizar la evaluación ex – post del programa de gestión de episodios críticos solo se puede condicionar desde el año 2009 por las variables meteorológicas de temperatura y velocidad del viento. Además, si se quiere condicionar por precipitaciones, el periodo de análisis sería solo a partir del año 2012. Independiente de la alternativa escogida, existe un periodo de meses entre 2013 y 2014 en el cual no se puede controlar por temperatura ni velocidad del viento.

5.5.2 VARIABLES DE CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES

Tal como se aprecia en la Tabla 18 existen bastantes estaciones de monitoreo que miden material particulado en diferentes comunas del país. Por lo cual, es posible filtrar la información para determinar las estaciones de monitoreo que cuenten con información validada y/o de buena calidad para ser incluidas en el análisis. Pero tal como se ha señalado previamente, lo más lógico es considerar solo aquellas comunas del centro - sur del país con características más similares a la zona de Temuco y Padre Las Casas.

Tabla 18. Estaciones de monitoreo con datos de concentraciones para MP_{2,5} y MP₁₀ en Chile

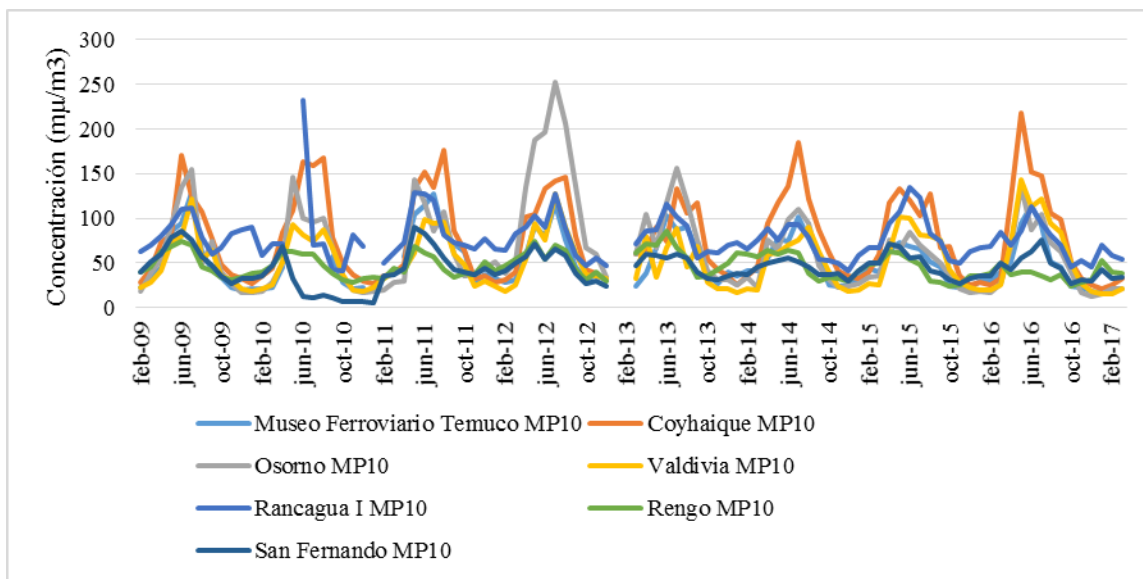
	Estaciones	MP _{2,5}	MP ₁₀
Región XV	1	1	0
Región I	1	1	0
Región II	29	10	25
Región III	26	2	14
Región IV	17	2	14
Región V	35	9	29
Región Metropolitana	13	13	13
Región VI	15	3	12
Región VII	8	6	7
Región VIII	35	13	27
Región IX	4	3	4
Región XIV	6	2	6
Región X	6	3	6
Región XI	2	2	2
Región XII	1	1	0
Total	199	71	159

Fuente: SINCA

Otro punto importante a considerar en la evaluación ex – post del PDA es incluir solo aquellas estaciones de monitoreo de contaminantes que tengan datos para un periodo similar a la disponibilidad de datos meteorológicos. En este sentido, después de procesar los datos de concentraciones se concluye que el número de estaciones con datos desde el año 2009 son siete para el para MP₁₀ (ver Figura 36) y solo cuatro para el MP_{2,5} (ver Figura

37). En consecuencia, el estudio de la evaluación ex – post se enfocará en el MP₁₀ ya que mientras más comunas se incluyan en el análisis es mejor para construir un escenario contrafactual válido²².

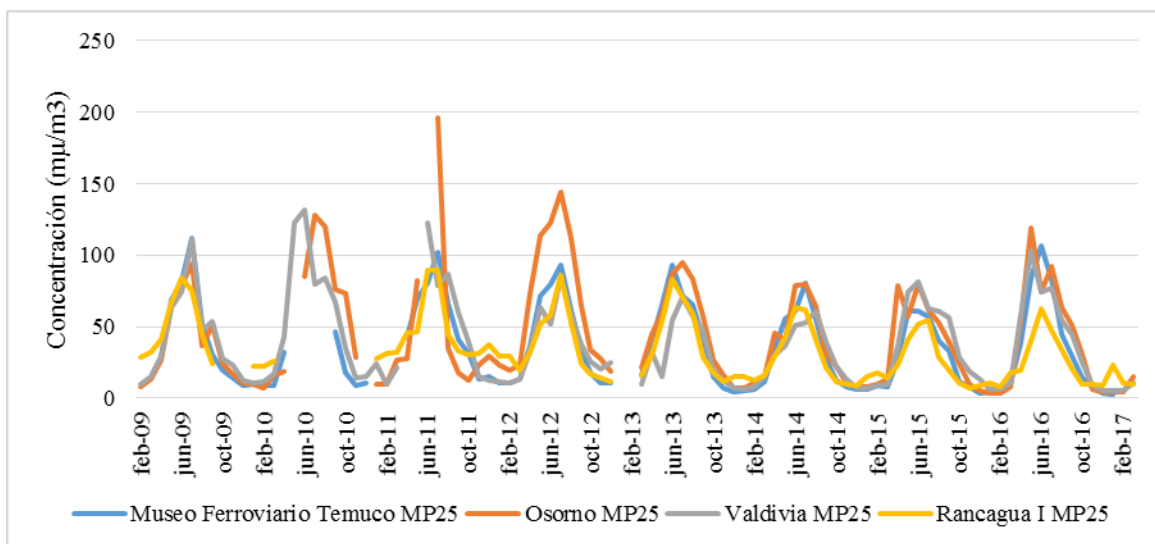
Figura 36. Estaciones de monitoreo con datos mensuales de concentraciones para MP₁₀ desde año 2009



Fuente: Elaboración propia en base a SINCA

²² Este tipo de contaminante incluye emisiones fugitivas en verano y un incremento significativo en invierno por la calefacción residencial a leña, por lo cual se debe tener la precaución de incluir variables *dummy* por mes para controlar la estacionalidad en los métodos estadísticos utilizados.

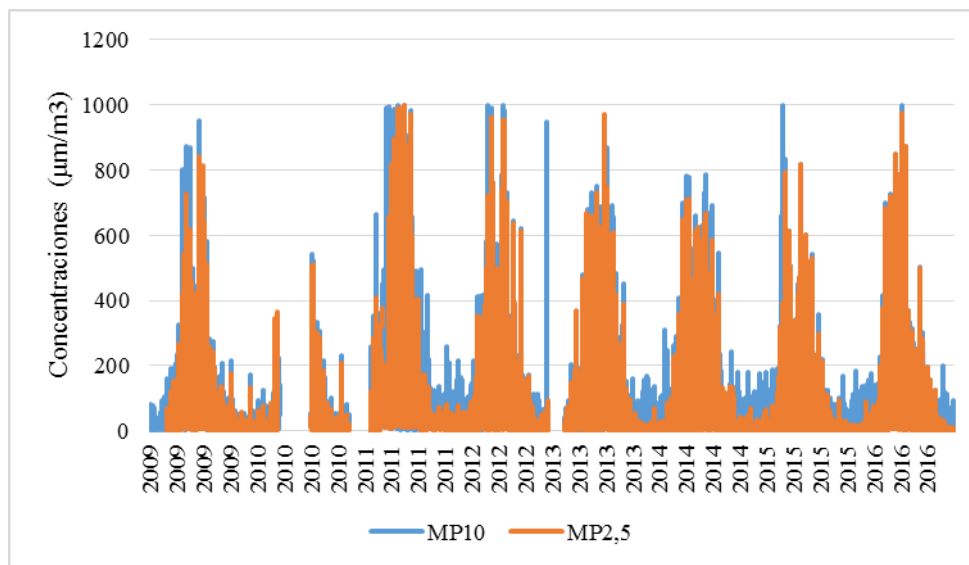
Figura 37. Estaciones de monitoreo con datos mensuales de concentraciones para MP_{2,5} desde año 2009



Fuente: Elaboración propia en base a SINCA

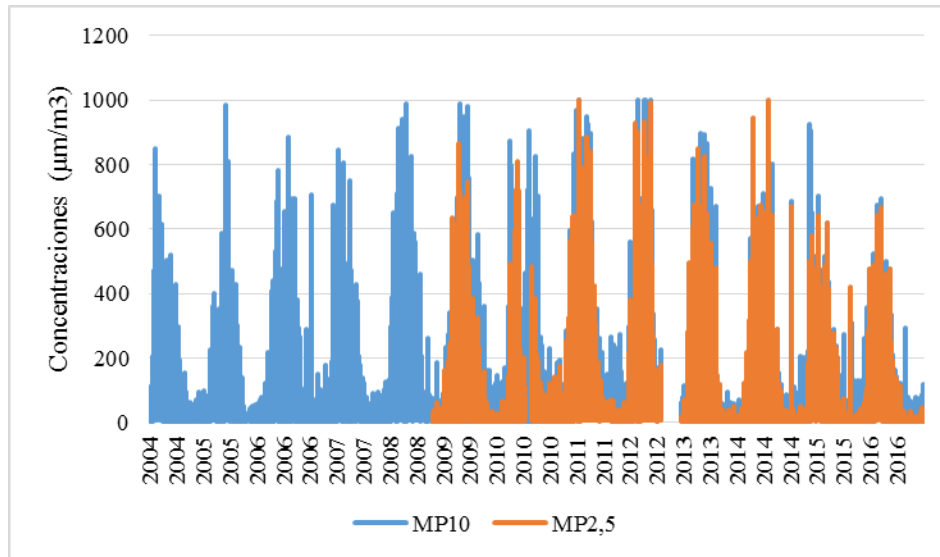
En el caso de la evaluación ex – post del programa de gestión de episodios críticos se requieren datos con periodicidad horaria para las concentraciones de contaminantes. A continuación se presentan los datos de concentraciones horarias para las estaciones de monitoreo Museo Ferroviario (ver Figura 38), las Encinas (ver Figura 39) y Padre Las Casas II (ver Figura 40).

Figura 38. Estaciones de monitoreo con datos horarios de concentraciones para MP_{2,5} y MP₁₀ en Estación Museo Ferroviario



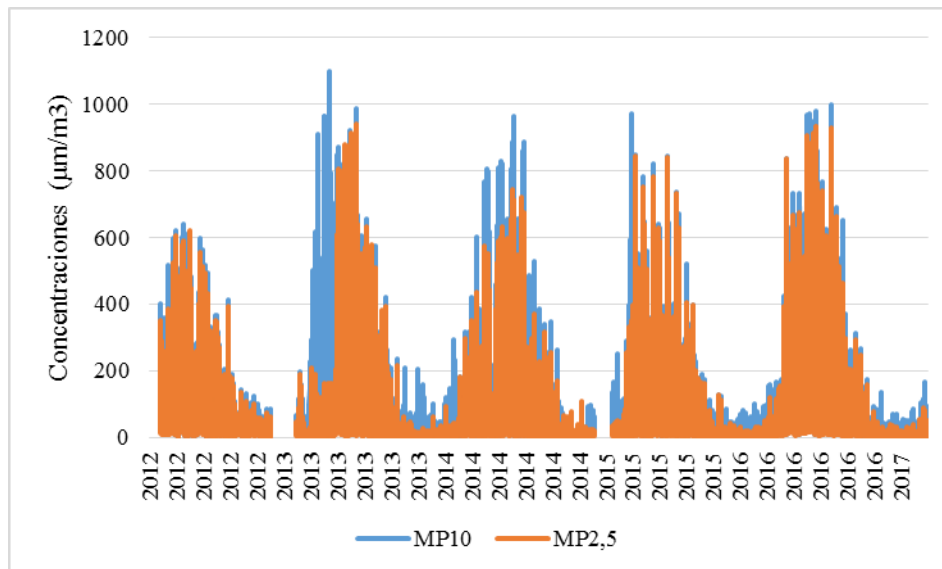
Fuente: Elaboración propia en base a SINCA

Figura 39. Estaciones de monitoreo con datos horarios de concentraciones para MP_{2,5} y MP₁₀ en Estación Las Encinas



Fuente: Elaboración propia en base a SINCA

Figura 40. Estaciones de monitoreo con datos horarios de concentraciones para MP_{2,5} y MP₁₀ en Estación Padre Las Casas II



Fuente: Elaboración propia en base a SINCA

5.5.3 VARIABLES DE TRATAMIENTO PARA EVALUAR EL PDA

A principios de la década de los años 90 comenzaron las primeras declaraciones de zonas saturadas o latentes que justificaron planes de descontaminación y prevención para reducir la concentración de emisiones en estas zonas. Actualmente, en la zona centro - sur están

vigentes los Planes de Descontaminación de la Región Metropolitana de Santiago, Valle Central de O'Higgins en la VI Región, Fundición Caletones en la comuna de Machalí y Complejo Industrial Ventana en las comunas de Puchuncaví y Quintero. Mientras que en la zona sur están vigentes los planes Talca y Maule, Chillán y Chillán Viejo, Temuco y Padre Las Casas, Osorno, y Coyhaique. Por otra parte, los planes de Los Ángeles y Valdivia están en su etapa de tramitación final²³.

Específicamente, para este estudio son de interés las ciudades localizadas en la zona centro - sur del país que registran altos niveles de concentración de $MP_{2,5}$ superando la norma anual y/o diaria principalmente debido a la quema de leña para combustión residencial. Según los inventarios de emisiones desarrollados en el país, el aporte de las emisiones por combustión residencial de leña corresponde a un 45% en el valle central de la región de O'Higgins, un 89% en Talca, un 55% en Concepción Metropolitana, un 97% en Temuco y Padre Las Casas y un 94% en Coyhaique²⁴. Por otra parte, las variaciones en las concentraciones de material particulado se pueden explicar por la ubicación geográfica de las fuentes emisoras y las condiciones meteorológicas que determinan la mala dispersión de contaminantes y la ocurrencia de episodios críticos (estabilidad atmosférica y bajas temperaturas).

En consecuencia, la evaluación ex – post del PDA de Temuco y Padre Las Casas debería incluir solo aquellos PDA que presenten fuentes emisoras, medidas y condiciones meteorológicas similares, para que efectivamente puedan contribuir a definir un escenario contrafactual válido. Esto significa que los PDA de las zonas evaluadas serán aquellas presentadas en la Tabla 19. En particular, estas zonas se caracterizan porque tienen altos niveles de penetración de uso de leña para calefacción residencial y están localizadas en la zona centro - sur del país por lo que tienen algunas similitudes meteorológicas. Cabe mencionar que los PDA de Los Ángeles y Valdivia están en su etapa final de aprobación y no han entrado en vigencia de forma oficial, por lo cual no son incluidos.

²³

http://planesynormas.mma.gob.cl/normas/mostrarCategoria.php?tipo_norma=planes&msessv=m_20170520.122239.59206d4f3efc3

²⁴ <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1042254>

Tabla 19. Zonas con PDA y fechas de aplicación

Zona con PDA	Estado	Fecha Publicación	Año Finalización
Temuco y Padre Las Casas	Reemplazado	03-06-2010	2015
Valle Central de O'Higgins	Vigente	02-05-2013	2023
Talca y Maule	Vigente	25-03-2016	2025
Chillán y Chillán Viejo	Vigente	28-03-2016	2025
Temuco y Padre Las Casas	Vigente	17-11-2015	2025
Osorno	Vigente	28-03-2016	2025
Coyhaique	Vigente	28-03-2016	2025

Fuente: elaboración propia

También, se incluirán zonas que aún no cuenten con un PDA pero que tengan características similares y suficientes datos de concentraciones y variables meteorológicas en las estaciones de monitoreo. Específicamente, se puede incluir la zona de Valdivia (ver Figura 38) porque su PDA está en tramitación final y no estuvo vigente para el periodo de datos analizados en la presente evaluación ex – post. Otras zonas como Curicó, Coronel y Talcahuano cuentan con información meteorológica suficiente pero no pueden ser incluidas por la falta de datos para concentraciones en el periodo de interés.

5.5.4 VARIABLES DE TRATAMIENTO PARA EVALUAR LA GESTIÓN DE EPISODIOS CRÍTICOS

Para la evaluación ex – post el programa de gestión de episodios críticos se requieren identificar los días en los cuales se han implementado prohibiciones de uso de leña por pronóstico de pre – emergencia o emergencia ambiental²⁵. Estos datos fueron solicitados a través de la ley de Transparencia a la SEREMI de Salud. La Tabla 20 resume esta información.

Tabla 20. Días de gestión de episodios críticos en Temuco y Padre Las Casas

Año	Emergencia	Pre - emergencia	Total
2013	7 días	16 días	23 días
2014	4 días	19 días	23 días
2015	12 días	21 días	33 días
2016	31 días	34 días	65 días

Fuente: SEREMI de Salud de la Región de La Araucanía

²⁵ No hay medidas restrictivas en los episodios de alerta por lo cual no son incluidos. En las alertas la autoridad solo entrega recomendaciones para la protección de la salud y se hace un llamado al uso responsable y eficiente de la calefacción.

5.6 DEFINIR LA INFORMACIÓN NECESARIA FALTANTE

En esta actividad se establecen los requerimientos de información que faltan para ejecutar la evaluación ex – post de los diferentes programas de Temuco y Padre Las Casas que serán abordados en esta consultoría.

Para la evaluación del PDA como política consolidada se requieren los datos mensuales de concentraciones de los contaminantes y variables meteorológicas de las estaciones de monitoreo de Temuco y Padre Las Casas, así como también, de otras comunas que enfrentan problemas de contaminación similares (zona centro - sur de Chile). La variable de tratamiento corresponde a la fecha en la cual entró en vigencia el PDA de Temuco y Padre Las Casas, como también la fecha de la entrada en vigencia de los otros PDA de la zona centro – sur de Chile. Todos estos datos fueron recolectados y presentados en las secciones previas. En consecuencia, no se requiere información adicional para la evaluación de este programa. Sin embargo, hubiese sido útil tener información complementaria que no está totalmente disponible para todas las zonas bajo análisis y se sugiere que sea levantada y/o consolidada por el MMA para futuras evaluaciones ex – post. Por ejemplo, la fecha (mes) en la cual se han realizado efectivamente los recambios de calefactores en cada vivienda y el número acumulado de calefactores recambiados en Temuco y Padre Las Casas, y en otras comunas del centro – sur del país. También, hubiese sido útil contar con la fecha efectiva (mes) en la cual se ejecutó el aislamiento térmico de las viviendas en cada comuna (esta información tampoco está reportada en las bases de datos proporcionadas por el MINVU, ya que solo hay datos sobre la asignación del subsidio pero no de ejecución real del aislamiento térmico). Adicionalmente, hubiese sido útil para evaluar la regulación de la humedad de la leña disponer de información sobre fecha y número de fiscalizaciones, mediciones de humedad, leña incautada, entre otras variables en periodicidad mensual para todas las comunas. Finalmente, hubiese sido importante contar con información sobre la fecha de implementación real de otras medidas en diferentes comunas del país con problemas de contaminación por uso de leña para calefacción que pudiesen ser incorporadas en el análisis, como por ejemplo campañas de difusión o educación ambiental del MMA²⁶.

Para la evaluación del programa de gestión de episodios críticos en Temuco y Padre Las Casas, se requieren datos horarios de concentraciones de los contaminantes y variables meteorológicas de las estaciones de monitoreo en ambas comunas. La variable de tratamiento corresponde a los días y horarios en los cuales se aplicó la prohibición de uso de calefactores a leña por el pronóstico de episodio crítico. Estos datos fueron recopilados y presentados en las secciones previas. En consecuencia, no se requiere información adicional para la evaluación de este programa.

Por otra parte, para la evaluación de los programas de aislamiento térmico de viviendas y recambio de calefactores se necesitan datos sobre niveles de consumo de leña y las

²⁶ Aunque toda la información mencionada hubiese sido útil, igualmente se puede realizar la evaluación de la aplicación del PDA de Temuco y Padre Las Casas tratándolo como una única política consolidada. Lo mismo se asume para los otros PDA implementados en otras ciudades del centro - sur del país.

características de los hogares que han sido beneficiados por alguno de estos programas en Temuco y Padre Las Casas. También, se necesitan estos mismos datos pero para hogares que no fueron beneficiados. Esta información es requerida ya que se espera que la participación en estos programas disminuya la utilización de leña y en consecuencia las emisiones de material particulado MP₁₀ o MP_{2,5}.

Debido a que las bases de datos que fueron proporcionadas por el MMA sobre las características de los postulantes del programa de recambio de calefactores antes de obtener este beneficio solo permiten obtener el rango del consumo de leña y no el consumo específico, se requiere que en la encuesta a realizar en la presente consultoría se consulte por los niveles de consumo antes y después del tratamiento con el objetivo de precisar los datos de esta variable de resultado. Cabe destacar que la dificultad práctica de esta alternativa es que se debe confiar en la memoria de los encuestados sobre la situación de consumo de leña previo al tratamiento, lo cual puede ser distorsionado por la imprecisión de la memoria u otros factores. Incluso muy probablemente la información reportada sobre el consumo antes del tratamiento que se levante en esta consultoría no coincide con el rango disponible en la línea base obtenida con la base de datos de los postulantes. En este último caso, simplemente se deberá priorizar la información levantada en la encuesta realizada en este estudio debido a que incluye variables que son factores relevantes que explican el consumo de leña y no están disponibles en las bases de datos existentes.

A partir de la información disponible que se ha discutido en este informe se analizan qué variables deberían ser incluidas en el levantamiento de información de la presente consultoría. Este análisis preliminar es muy importante ya que el instrumento de recolección de datos debe ser formulado de tal forma que incluya toda la información relevante para responder a las preguntas de la evaluación ex – post, lo cual incluye la determinación de las variables de resultado como también las variables caracterizadoras de cada unidad y posibles factores exógenos. Sin embargo, para realizar una evaluación ex – post se debe evitar incluir demasiadas preguntas en los cuestionarios, alargando innecesariamente la duración de las entrevistas, por ello una forma de reducir su extensión es determinar si una pregunta incluida en el cuestionario es útil. Así, si una pregunta no va a ser realmente utilizada es mejor no incluirla y priorizar aquellas que son necesarias (IIT-UDEC, 2015).

En el caso de la presente consultoría se requiere condicionar el consumo de leña con las características relacionadas con la probabilidad de participación en cada programa, ya que la omisión de estas variables podría generar sesgos en la estimación del impacto. En el caso del programa de recambio de calefactores las características relacionadas con la probabilidad de obtener el beneficio fueron el tamaño de grupo familiar, número de personas mayores de 60 años, tipo de calefactor escogido, consumo de leña en m³, estado del calefactor antiguo, tipo de calefactor antiguo, número de habitaciones, antigüedad, y si la vivienda obtuvo un subsidio SERVIU entre 2008-2015 (ver Tabla 12). En el caso del programa de aislamiento térmico con la base de datos original proporcionada por el MINVU la variable que explica la probabilidad de ser elegido es la comuna y el año del beneficio (ver Tabla 15), mientras que con la base de datos empalmada se determina que la

única variable relevante es si la obtuvo un subsidio de aislación SERVIU entre los años 2008 y 2015 (ver Tabla 17).

Además, es necesario definir si existen otras variables relevantes que puedan explicar estadísticamente el consumo de leña. De acuerdo al informe final “Elaboración de una guía metodológica para la evaluación ex - post de políticas ambientales” realizada por IIT-UDEC (2015) una encuesta destinada a levantar información del consumo residencial podría considerar los siguientes aspectos:

- Dirección de la vivienda
- El tipo de inmueble
- El número de integrantes del hogar
- El volumen de leña u otro combustible utilizado para calefacción
- La fecha y canales de adquisición de la leña u otros combustibles
- El precio que pagan por la energía (gas, electricidad, combustibles de biomasa)
- Los tipos de artefactos para calefacción utilizados
- La temporalidad y estacionalidad del consumo
- La forma de operación de los artefactos
- El nivel socioeconómico
- Los materiales de construcción y aislamiento térmico de la vivienda
- Humedad de la leña
- Percepción de confort térmico que aporta el calefactor
- Percepción de bienestar que aporta el calefactor (por ejemplo: personas enfermas)
- Percepción de contaminación intradomiciliaria
- Preguntas situacionales
- Otras variables de interés

Para ratificar cuáles de estas variables son efectivamente relevantes para explicar la variabilidad en el consumo de leña, se utilizó y analizó una base de datos de consumo de leña realizada el año 2015 en la comuna de Coronel por el mismo equipo consultor. Esta base de datos es la más reciente levantada por IIT-UdeC, y además, tiene un alto nivel de detalle sobre características de los hogares y patrones de utilización de los equipos de calefacción a leña. La Tabla 21 muestra que solo 4 variables de las 54 variables incluidas tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el nivel de consumo de leña. La primera de ellas se asocia al tipo de piso con radier no revestido, la segunda se asocia a aquellos hogares que no reportaron el nivel de educación del jefe de hogar, la tercera relacionada a si el hogar seca la leña y la cuarta es el número de calefactores que posee la vivienda.

Aunque en el análisis estadístico previo no se concluye que el ingreso sea un determinante del consumo de leña en la comuna de Coronel, si se sugiere incluir esta variable en la encuesta a realizar en Temuco y Padre Las Casas ya que en la Sección 4.9 se mostró que los deciles de ingreso más altos tiene un comportamiento diferente en los patrones de uso de calefactores a leña.

Tabla 21. Variables que afectan el consumo de leña

Variable	Coficiente	Desv. Est.
Ingreso mensual	-0,0006	0,0003
Número de personas	48,8558	55,7571
M ² de la vivienda	3,8698	2,5249
Techo aceptable	5,2410	227,0891
Techo malo	-606,2904	786,8635
Techo con cielo interior	149,8632	315,4572
Techo sin cielo interior	-323,2747	455,0548
Piso aceptable	-79,6182	374,0215
Piso malo	-64,6763	595,8066
Piso de radier no revestido	2477,5000	679,9150 **
Piso de tabla o parquet sobre vigas	-337,5557	323,2254
Piso de madera o pastelones sobre tierra	-98,9394	792,6189
Muros aceptables	338,0489	328,2469
Muros malos	916,2669	1728,7770
Muro de albañilería	80,5775	200,2044
Muro de tabique forrado por ambas caras	284,5982	234,3557
Muro otro	356,6532	913,6966
Casa pareada	170,9239	169,4156
Casa en fila	-436,6080	1098,3540
Casa propia pagándose	-235,9132	205,2298
Casa compartida pagada	-546,2564	816,7751
Arriendo con contrato	-464,4895	468,3361
Arriendo sin contrato	-381,5435	818,5094
Casa cedida por familiar o amigo	-454,3323	368,1167
Casa en usufructo	-46,0473	1199,4540
No sabe	-1042,2660	1135,1950
No responde	327,0760	1212,3310
Educación básica incompleta	899,6166	596,0664
Educación básica completa	1078,7410	604,3686
Educación media hum. Incompleta	777,3223	626,3595
Educación media tec. Incompleta	1047,0120	777,0979
Educación media hum. Completa	820,1744	604,9645
Educación media tec. Completa	758,5333	626,9601
Educación media incompleta	818,1618	690,6949
Educación tec. o univ. incompleta	708,8146	683,4559
Educación tec. o univ. completa	896,3330	639,9110
No sabe educación	1804,9590	860,6719 *
Seca la leña	-1148,4880	515,2002 *
Meses que seca la leña	19,1128	38,0013
Almacena bajo techo	217,7649	1195,0910
Almacena a la intemperie	-846,6315	1597,0660
Almacena en galpón	206,5176	1222,6700
Almacena a la intemperie con plástico	-322,0145	1251,7630
Meses de almacenamiento	-5,2894	50,3162
Prefiere leña semi-húmeda	35,1020	295,1846
Sin preferencia de humedad	356,0074	1136,4790
Compra 2 ó 3 veces por semana	-1273,4360	1060,0290
Compra semanalmente	-431,2152	1086,8350
Compra 1 vez al mes	68,4488	745,1686
Compra 2 a 4 veces al mes	-20,2101	734,4693
Compra 1 vez al año	-160,5549	730,1088
Compra otra frecuencia	1799,6270	1321,1170
No sabe frecuencia	838,1940	1485,0510
Número de calefactores	450,8186	177,6832 *
Constante	766,0982	1510,2830
Nº observaciones	257	
R ²	0,2742	

Fuente: Elaboración propia

A partir del análisis previo se generó un cuestionario, el cual incluye información de línea base definida para el año 2015 y la ronda de seguimiento definida para el año 2017 (ver sección 4.19).

De acuerdo a los antecedentes discutidos previamente, en la Tabla 22 se puede resumir toda la información faltante para realizar las diferentes evaluaciones ex – post comprometidas en el presente estudio.

Tabla 22. Resumen con los diferentes requerimientos de información para cada evaluación ex – post

PDA como política consolidada	Gestión de episodios críticos	Recambio de calefactores	Aislación de viviendas
No se requiere información adicional	No se requiere información adicional	Consumo de leña actual y previo al tratamiento	Consumo de leña actual y previo al tratamiento
Podría ser útil tener la fecha de ejecución de medidas incorporadas en cada PDA		Características de las viviendas asociadas a la probabilidad de obtener el beneficio en ambos periodos (tamaño de grupo familiar, número de personas mayores de 60 años, tipo de calefactor escogido, consumo de leña en m ³ , estado del calefactor antiguo, tipo de calefactor antiguo, número de habitaciones, antigüedad, y si la vivienda obtuvo un subsidio de aislación SERVIU entre 2008-2015)	Características de las viviendas asociadas a la probabilidad de obtener el beneficio en ambos periodos (comuna y el año del beneficio)
Podría ser útil tener el número de acciones o porcentaje de cumplimiento de cada medida por mes		VARIABLES CARACTERIZADORAS QUE EXPLICAN EL CONSUMO DE LEÑA EN AMBOS PERIODOS (tipo de piso, educación, uso de leña seca, número de calefactores utilizados y nivel de ingreso)	VARIABLES CARACTERIZADORAS QUE EXPLICAN EL CONSUMO DE LEÑA EN AMBOS PERIODOS (tipo de piso, educación, uso de leña seca, número de calefactores utilizados y nivel de ingreso)

Fuente: Elaboración propia

6 DESARROLLO DE ACTIVIDADES DEL COMPONENTE N° 3

6.1 PREGUNTAS DE EVALUACIÓN, TEORÍA DEL CAMBIO, CADENA DE RESULTADOS, HIPÓTESIS E INDICADORES DE DESEMPEÑO

A continuación se definen los elementos necesarios para establecer el diseño lógico de los diferentes programas sujetos a evaluación.

6.1.1 PREGUNTAS DE EVALUACIÓN

La evaluación ex – post tiene por objetivo responder si los programas de recambio de calefactores y aislamiento térmico de viviendas realizados en la zona del PDA de Temuco y Padre Las Casas tuvieron algún impacto positivo en términos medioambientales a través de una reducción en el consumo de leña y la reducción de emisiones asumiendo ciertos factores de emisión para los calefactores utilizados. En consecuencia, las preguntas específicas para la evaluación ex – post son las siguientes:

- ¿Cuál es el nivel de reducción en el consumo de leña y emisiones por ser beneficiario del programa de recambio de calefactores?
- ¿Cuál es el nivel de reducción en el consumo de leña y emisiones por ser beneficiario del programa de aislamiento térmico de viviendas?

Adicionalmente, si un subgrupo de hogares participó en ambos programas de forma conjunta se podría analizar su efecto combinado e independiente:

- ¿Cuál es el nivel de reducción en el consumo de leña y emisiones por ser beneficiario del programa de aislamiento térmico de viviendas y del programa de recambio de calefactores?
- ¿Cuál es el nivel de reducción en el consumo de leña y emisiones por ser solo beneficiario del programa de recambio de calefactores?
- ¿Cuál es el nivel de reducción en el consumo de leña y emisiones por ser solo beneficiario del programa de aislamiento térmico de viviendas?

También, se podrían incluir preguntas relativas a qué tipo de tratamiento dentro del programa resultó más efectivo, por ejemplo en el programa de recambio de calefactores se podría identificar el impacto del recambio a un calefactor a leña certificado, pellet o kerosene.

Una forma complementaria de evaluar los impactos conjuntos que han tenido los diferentes programas implementados en el marco del PDA sobre la contaminación ambiental en Temuco y Padre Las Casas es relacionar directamente los cambios en las concentraciones de material particulado con la fecha de implementación del PDA al controlar por factores meteorológicos. De acuerdo a los datos secundarios disponibles sería posible evaluar el PDA como un programa consolidado, y además, el programa de gestión de episodios críticos. En este caso las preguntas de interés específicas son:

- ¿Cuál es el nivel de reducción en el nivel de concentraciones por la implementación del PDA?
- ¿Cuál es el nivel de reducción en el nivel de concentraciones por la implementación del programa de gestión de episodios críticos?

6.1.2 TEORÍA DEL CAMBIO

Un elemento esencial de cualquier evaluación de impacto es formular una teoría del cambio que describa la secuencia lógica de eventos que explican cómo el programa y otras influencias ajenas al programa afectarán los resultados. En consecuencia, su objetivo es describir cómo y por qué un programa logrará los resultados deseados al examinar los supuestos y condiciones bajo las cuales se producen los cambios (Gertler *et al.*, 2015).

Las teorías del cambio deberían desarrollarse antes de que comience la intervención en la etapa de diseño. Sin embargo, en este caso ambos programas ya están en funcionamiento por lo cual la teoría del cambio realizará una descripción de los insumos utilizados, actividades realizadas, productos generados, y también, se realizarán predicciones de los resultados finales esperados a partir del cambio en la conducta de uso de leña en el grupo de beneficiarios.

Existen múltiples opciones para el diseño de una teoría del cambio como modelos teóricos, modelos lógicos, marcos lógicos, modelos de resultados y cadenas de resultados pero de acuerdo a Gertler *et al.* (2015) la alternativa más sencilla y clara es a través de la cadena de resultados, por lo que será esta alternativa la escogida en el presente informe. Además, desde un punto de vista práctico, la información requerida para su construcción está disponible a partir de los registros oficiales o administrativos, y no requiere levantar información cualitativa con los encargados de los programas, lo cual refuerza su elección. Una cadena de resultados define la secuencia en la cual los insumos, actividades y productos del programa determinan los resultados. A continuación se describe la cadena de resultados para cada uno de los programas analizados.

6.1.3 CADENA DE RESULTADOS PARA EL PROGRAMA DE RECAMBIO DE CALEFACTORES

El programa de recambio de calefactores del MMA abre postulaciones cada año para quienes requieran cambiar sus calefactores a leña antiguos por nuevos calefactores más eficientes y con bajas tasas de emisión de material particulado. En consecuencia, la cadena de resultados de este programa se puede definir por la siguiente secuencia lógica.

Insumos del programa: El personal se divide en los trabajadores que pertenecen al MMA y el personal de las empresas que se adjudicaron la licitación. En cuanto al personal del MMA son los encargados del diseño y posteriores modificaciones del programa, también son los encargados de definir los criterios de selección, evaluar según una pauta preestablecida y preseleccionar de acuerdo al puntaje obtenido por el postulante. Luego,

verifican en terreno (encuestadores acreditados por el MMA) los antecedentes para hacer la selección final. Por otro lado, está el personal de las empresas ganadoras de la licitación encargados de la instalación, capacitación sobre los nuevos calefactores y la destrucción de los antiguos. Para este programa se generó el diseño de una plataforma *online* para la postulación, insumos utilizados para generar los registros administrativos y selección de beneficiarios, pero el principal destino de los recursos es la licitación para la adquisición de los calefactores a leña certificados, pellet y kerosene. En este sentido, desde el año 2013 al año 2015 el presupuesto para el programa ha crecido en un 95%, alcanzando los \$3346 millones.

Actividades del programa: Las actividades asociadas a la ejecución del programa se centran principalmente en la instalación del calefactor nuevo, la capacitación sobre su uso al beneficiario y la destrucción del calefactor antiguo. La instalación del equipo nuevo consiste en el recambio del calefactor a leña antiguo, el cual tiene altas tasas de emisión de material particulado y una baja eficiencia en el uso de la energía, por un nuevo sistema de calefacción, más limpio, eficiente, seguro y con bajas emisiones. El programa de recambio establece los requisitos de los calefactores a adquirir e instalar, mediante las bases de licitación, entre los cuales se encuentran requisitos en emisiones de material particulado, eficiencia y potencia. La capacitación consiste en enseñar a los beneficiados como realizar un buen uso del artefacto recién instalado. Por último, se realiza la destrucción del artefacto a leña retirado. De igual manera existe un período de prueba para el nuevo artefacto instalado. Cabe señalar que el tiempo de intervención es de seis meses aproximadamente, el cual depende del tipo de calefactor (tipo de combustible que use). Este tiempo considera desde la postulación del beneficiario a la emisión del certificado de conformidad respecto a la instalación.

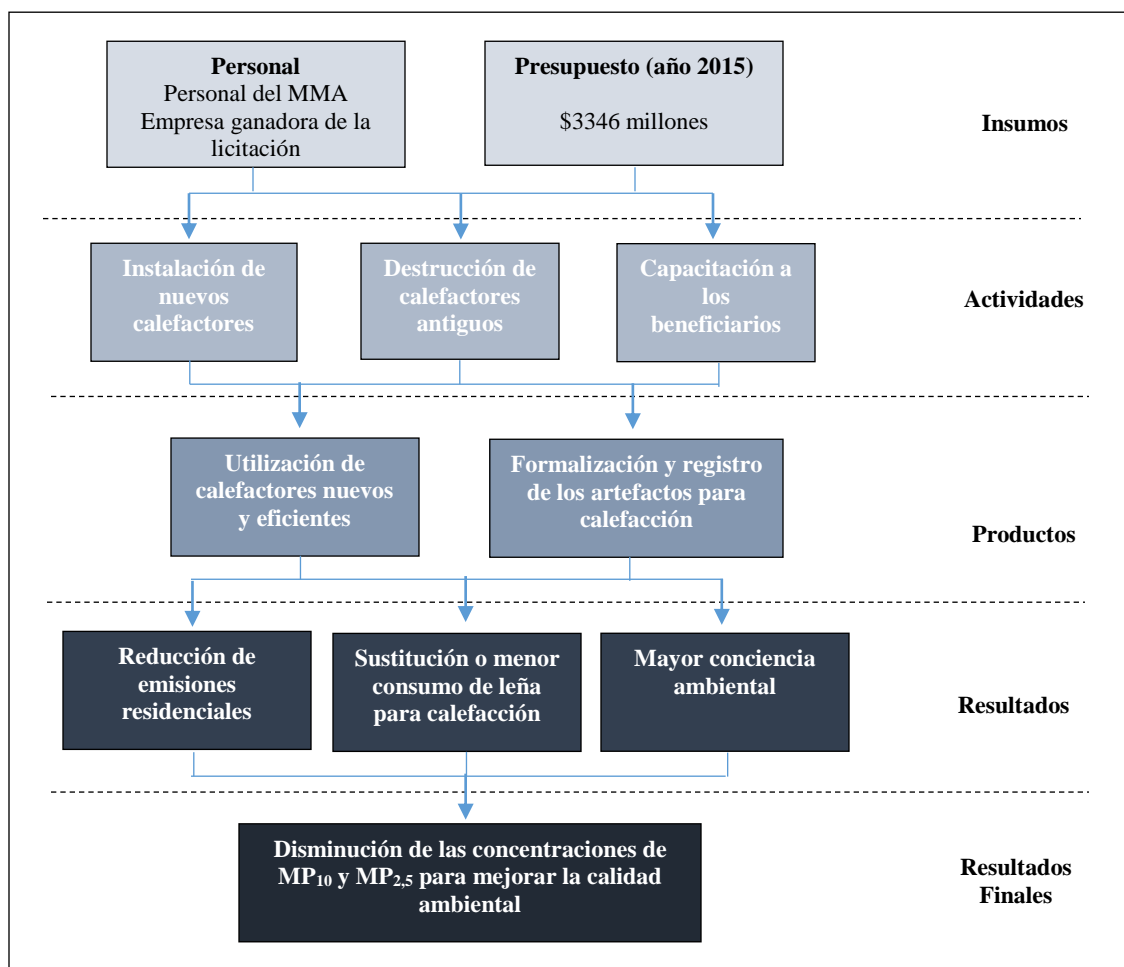
Productos del programa: Entre los productos del programa se encuentran la instalación y correcto uso de los nuevos calefactores más limpios y eficientes (con bajas emisiones de material particulado y alta eficiencia térmica), y también, el incremento en el registro oficial de los tipos de calefactores utilizados por las fuentes residenciales.

Resultados del programa: Entre los resultados que se esperan alcanzar en el corto y mediano plazo, una vez que los beneficiarios utilicen estos calefactores nuevos entregados por el programa se pueden mencionar: mayor concientización ambiental por parte de los beneficiarios con respecto a la contaminación que produce utilizar artefactos a leña poco eficientes; sustitución y/o reducción del consumo de leña por parte de los beneficiarios; y reducción de las emisiones por calefacción a leña en la población objetivo.

Resultados finales del programa: El programa busca en el largo plazo reducir los altos niveles de concentraciones de material particulado generados por la combustión de leña para calefacción residencial.

La ilustración de la cadena de resultados de este programa se presenta en la Figura 41.

Figura 41. Representación gráfica de la teoría del cambio de programa de recambio de calefactores



Fuente: Elaboración propia

6.1.4 CADENA DE RESULTADOS PARA EL PROGRAMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO

El programa de aislamiento térmico es un subsidio que tiene por objetivo realizar una remodelación de la vivienda para acondicionarla térmicamente. La postulación al programa se debe realizar a través de una entidad patrocinante que realiza el trámite directo en SERVIU. En consecuencia, la cadena de resultados de este programa se puede definir por la siguiente secuencia lógica.

Insumos del programa: El personal está conformado por los encargados del SERVIU quienes deben decidir los seleccionados del programa mediante una evaluación de acuerdo al puntaje obtenido por el postulante. También, está el personal de la entidad de asistencia técnica que es la organización que asesora a los participantes en todos los aspectos necesarios (técnicos y sociales) para acceder al subsidio. Finalmente, se incluye el personal de la empresa constructora ganadora de la licitación la cual es la encargada de llevar a cabo

el proceso de remodelación y acondicionamiento térmico de las viviendas. Para este programa existe un subsidio base para aislación térmica por 120 UF para cada vivienda, el cual puede ampliarse en caso de que la vivienda cuente con una ampliación regularizada de hasta 90 m². Si el monto del subsidio no permite aislar el 100% de la vivienda, el beneficiario debe cancelar un copago con el fin de cubrir el presupuesto total del proyecto, este monto varía según la superficie total de la vivienda. En el caso de los beneficiarios que pertenecen al 1°, 2° y 3° quintil de ingreso (desde 2072 y hasta 13484 puntos en su ficha de protección social) quedan exentos de este copago, el cual es aportado por el Estado. El año 2015 los recursos destinados en la zona del PDA fueron \$9595 millones y el año 2016 fueron \$7404 millones.

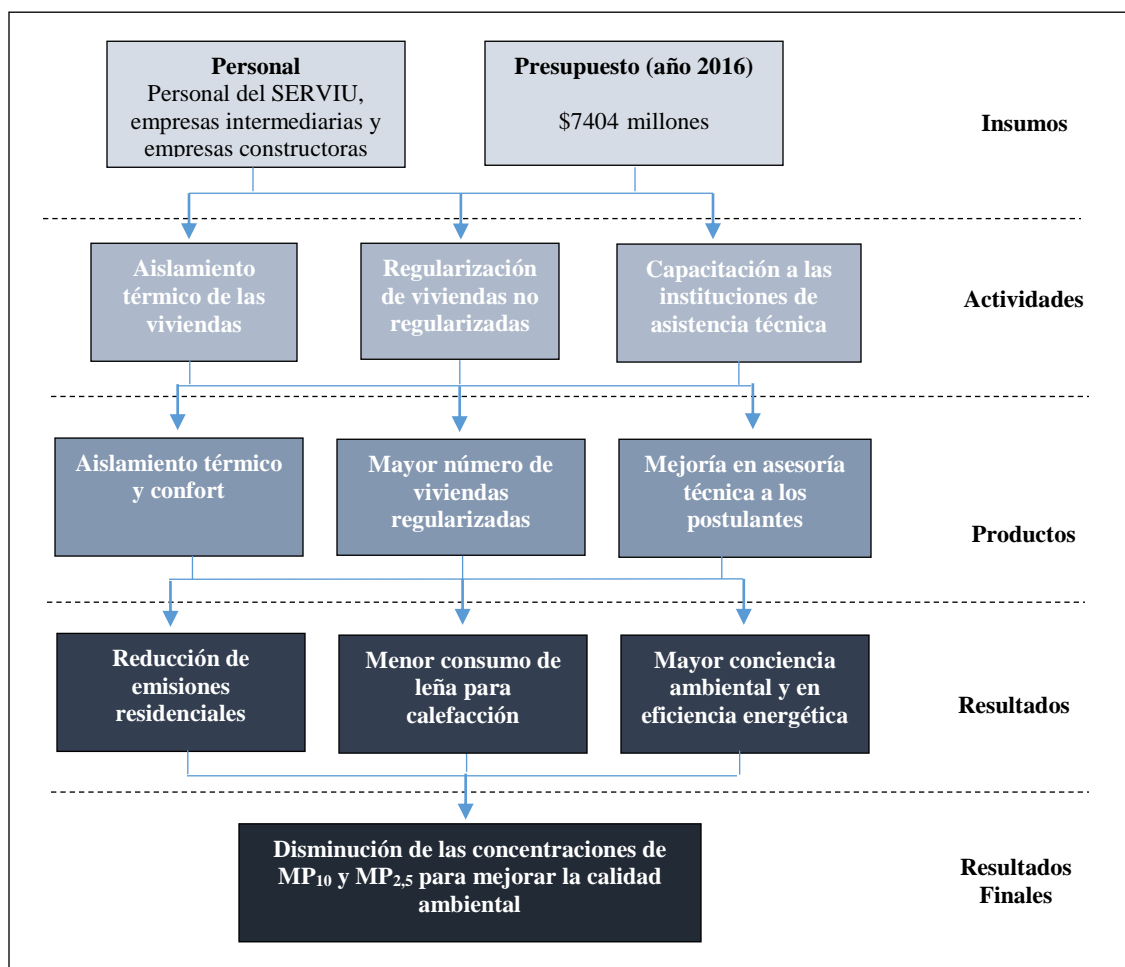
Actividades del programa: Las actividades asociadas a la ejecución del programa se centran en la remodelación y aislamiento térmico de la vivienda, y además, en la capacitación y acreditación de las entidades de asistencia técnica y constructoras encargadas de la remodelación. El aislamiento térmico de la vivienda consiste en la remodelación de techumbre, paredes, ventanas, entre otros, lo cual ayuda a reducir la pérdida de calor, permitiendo una reducción en el consumo de leña necesario para mantener una temperatura de confort dentro de la vivienda. Además, el subsidio considera una regularización para aquellas viviendas que no se encuentran regularizadas. Por otro lado, se capacita a las entidades de asistencia técnica, para que estas apoyen y asesoren a los beneficiarios en el proceso de postulación al programa y a las empresas constructoras ganadoras de la licitación que son las que llevan a cabo la obra, por lo tanto, deben cumplir los estándares exigidos por el SERVIU.

Productos del programa: El principal producto del programa es el acondicionamiento térmico de aislación que aumentará la acumulación de energía al interior de la vivienda proporcionando mayor confort, haciéndola más eficiente energéticamente. Además, con esta modificación se alcanzará la estandarización exigida por las normas permitiendo su categorización dentro de las viviendas regularizadas. También, se mejorará el conocimiento sobre las técnicas de aislamiento térmico de las viviendas que las hacen más eficientes. Las entidades capacitadas aprenderán como relacionarse y aconsejar correctamente a las personas participantes del programa en temas de eficiencia energética en sus viviendas y cumplir con las regularizaciones correspondientes.

Resultados del programa: Los resultados que se esperan alcanzar en el corto y mediano plazo están relacionadas con que las casas mejoradas térmicamente permitirán que las familias disminuyan el consumo de leña para calefacción pues se encontrarán en un estado mayor de confort, en consecuencia se generará una reducción en las emisiones de material particulado. También, se espera alcanzar un mayor grado de conciencia sobre la importancia de la eficiencia energética en las viviendas.

Resultados finales del Programa: El programa busca en el largo plazo reducir los altos niveles de concentraciones de material particulado generados por la combustión de leña para calefacción residencial y mejorar la eficiencia energética en las comunas de Temuco y Padre las Casas.

Figura 42. Representación gráfica de la teoría del cambio de programa de aislamiento térmico



Fuente: Elaboración propia

6.1.5 CADENA DE RESULTADOS PARA EL PDA DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS

Tal como se planteó en las secciones previas una forma alternativa de evaluar los impactos sobre la contaminación ambiental en Temuco y Padre Las Casas es considerar el PDA como un solo gran programa. En este caso la teoría del cambio sería la siguiente:

El PDA de Temuco y Padre Las Casas es un instrumento de gestión ambiental que a través de la definición e implementación de medidas específicas busca recuperar los niveles establecidos en la norma primaria de calidad ambiental. En consecuencia, la cadena de resultados de este programa se puede definir por la siguiente secuencia lógica.

Insumos del programa: El personal a cargo de la elaboración del PDA está compuesto por un comité operativo que incluye al Gobierno Regional, Municipios de Temuco y Padre las Casas, las SEREMI de los Ministerios de Vivienda y Urbanismo, Salud, Transporte,

Agricultura, Educación, Gobierno, Economía, Energía, Desarrollo Social y Medio Ambiente, además de las direcciones regionales de SERVIU, CONAF, CORFO, INDAP, SERNAC, y las superintendencias de SMA y SEC. Por otra parte, existe el personal a cargo de la aplicación de las medidas diseñadas de acuerdo a la competencia que tenga cada uno de los servicios públicos involucrados, y también, en la fiscalización para su cumplimiento. Los recursos involucrados por el Estado en el horizonte total del PDA equivalen a US\$70 millones en valor presente de acuerdo a estimaciones realizadas en el AGIES de este plan (MMA, 2014), estos recursos provienen principalmente del MINVU, GORE y MMA para el financiamiento del recambio de calefactores y aislamiento térmico de viviendas.

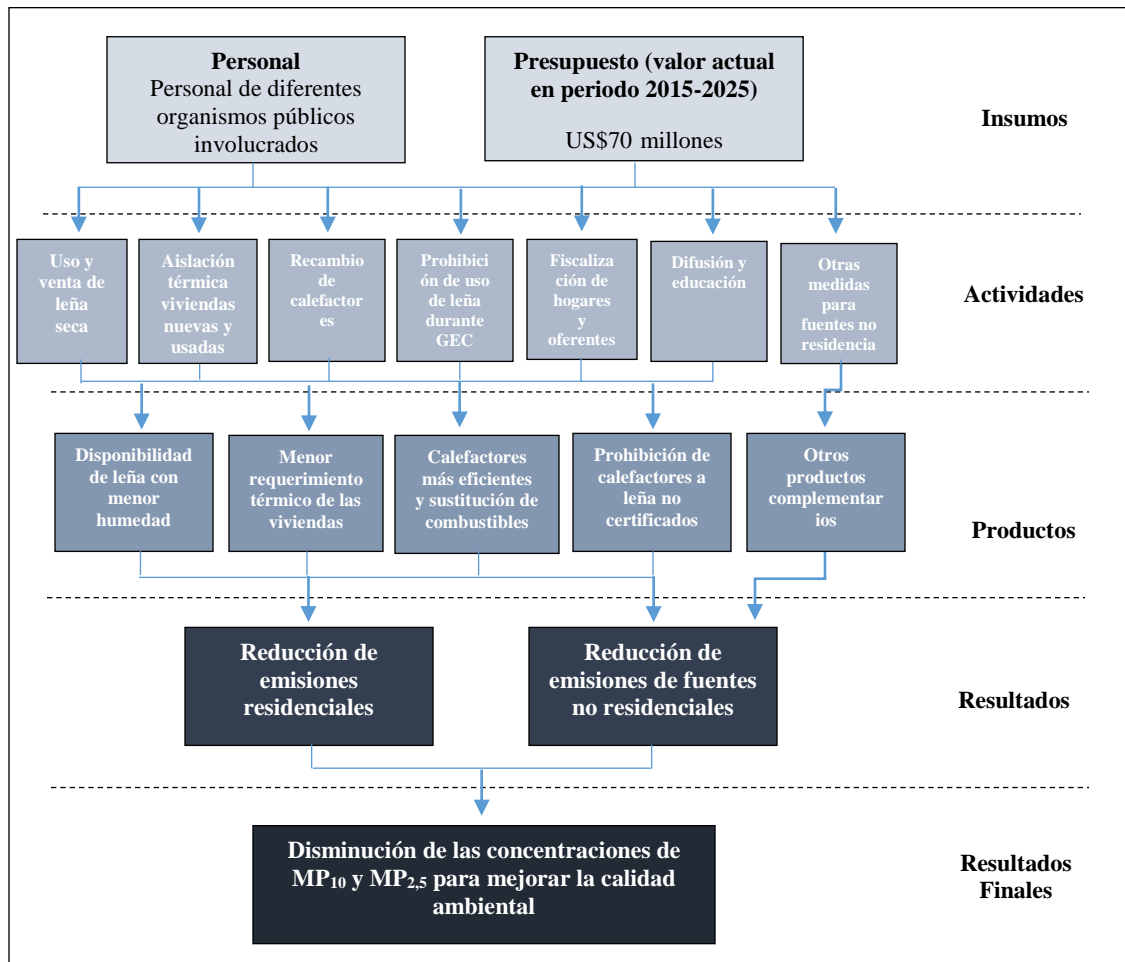
Actividades del programa: Las principales actividades asociadas a la ejecución del PDA se centran en la exigencia de comercialización de leña seca a cargo de la SMA y Municipios, la exigencia del uso de leña seca a través de la SEREMI de Salud, difusión de locales que cuenten con leña a través del SERNAC y MMA, establecimiento de programas de fomento a la producción de leña seca y proyectos de energía renovables no convencionales con fondos concursables de CORFO y SERCOTEC, establecimiento de programas de apoyo para la producción de leña seca a través de CONAF e INDAP, el registro de los calefactores a leña a través de la SEREMI del MMA, prohibición de uso de calefactores a leña durante episodios críticos y de artefactos que no cumplan la normativa, prohibición de quemas agrícolas, recambio de buses en el transporte público, límites de emisión para fuentes industriales, la fiscalización de las medidas establecidas en el PDA a través de la SMA y la SEREMI de Salud, la gestión de los programas de recambio de calefactores a cargo del MMA y de aislamiento térmico de viviendas a cargo del MINVU, la difusión y educación a través de diversas acciones realizadas por el SERNAC, MMA, SEREMI de Educación, Municipios, SEREMI de Salud y Ministerio de Energía.

Productos del programa: Los principales productos del programa son la disponibilidad de leña con menor contenido de humedad, menor requerimiento térmico de las viviendas nuevas y existentes, uso de calefactores más eficientes y prohibición de artefactos a leña durante episodios críticos o que no cumplen la normativa. Otros productos están relacionados con la formalización de la actividad de venta de leña, un recambio tecnológico más acelerado del parque de calefactores y fomento al uso de combustibles alternativos, renovación del parque de buses, mejoras tecnológicas en el sector industrial, mayor difusión de la problemática ambiental, entre otros.

Resultados del programa: Los principales resultados que se esperan alcanzar en el corto y mediano plazo con el PDA están relacionadas con una reducción en el consumo de leña para calefacción debido al recambio tecnológico con equipos a leña más eficientes, introducción de combustibles menos contaminantes, concientización sobre el uso de leña de mejor calidad (leña seca) y menores requerimientos energéticos debido al aislamiento térmico de las viviendas, todo lo anterior se traduce finalmente en una reducción en las emisiones asociadas a las fuentes residenciales. Otros resultados están asociados a lograr una menor contribución de fuentes emisoras industriales, móviles y agrícolas, las cuales tienen un aporte marginal a la problemática ambiental en la zona saturada.

Resultados finales del Programa: El PDA busca en el largo plazo reducir los altos niveles de concentraciones de material particulado generado principalmente por las fuentes residenciales en las comunas de Temuco y Padre las Casas.

Figura 43. Representación gráfica de la teoría del cambio de PDA de Temuco y Padre Las Casas



Fuente: Elaboración propia

6.1.6 CADENA DE RESULTADOS PARA EL PROGRAMA DE GESTIÓN DE EPISODIOS CRÍTICOS

Finalmente, se presenta la teoría del cambio asociada al programa de gestión de episodios críticos en Temuco y Padre Las Casas. Este programa es implementado por la SEREMI del Medio Ambiente cuyo objetivo es enfrentar los episodios de alta contaminación del aire, durante el periodo comprendido entre el 1° de abril y 30 de septiembre de cada año. Este programa en situación de pre - emergencia prohíbe el uso de más de un artefacto a leña, humos visibles y calderas a leña con potencia térmica menor a 75 kWt entre las 18:00 y las

6:00 hrs, mientras que en situación de emergencia prohíbe el uso de artefactos a leña y calderas a leña con potencia térmica menor a 75 kWt entre las 18:00 y las 6:00 hrs.

Insumos del programa: El personal de la SEREMI del MMA debe implementar el Plan Operacional de Gestión de Episodios Críticos (GEC) y además, se requiere personal de fiscalización a cargo de la SEREMI de Salud. También, se requieren recursos para la implementación del sistema de pronóstico y difusión.

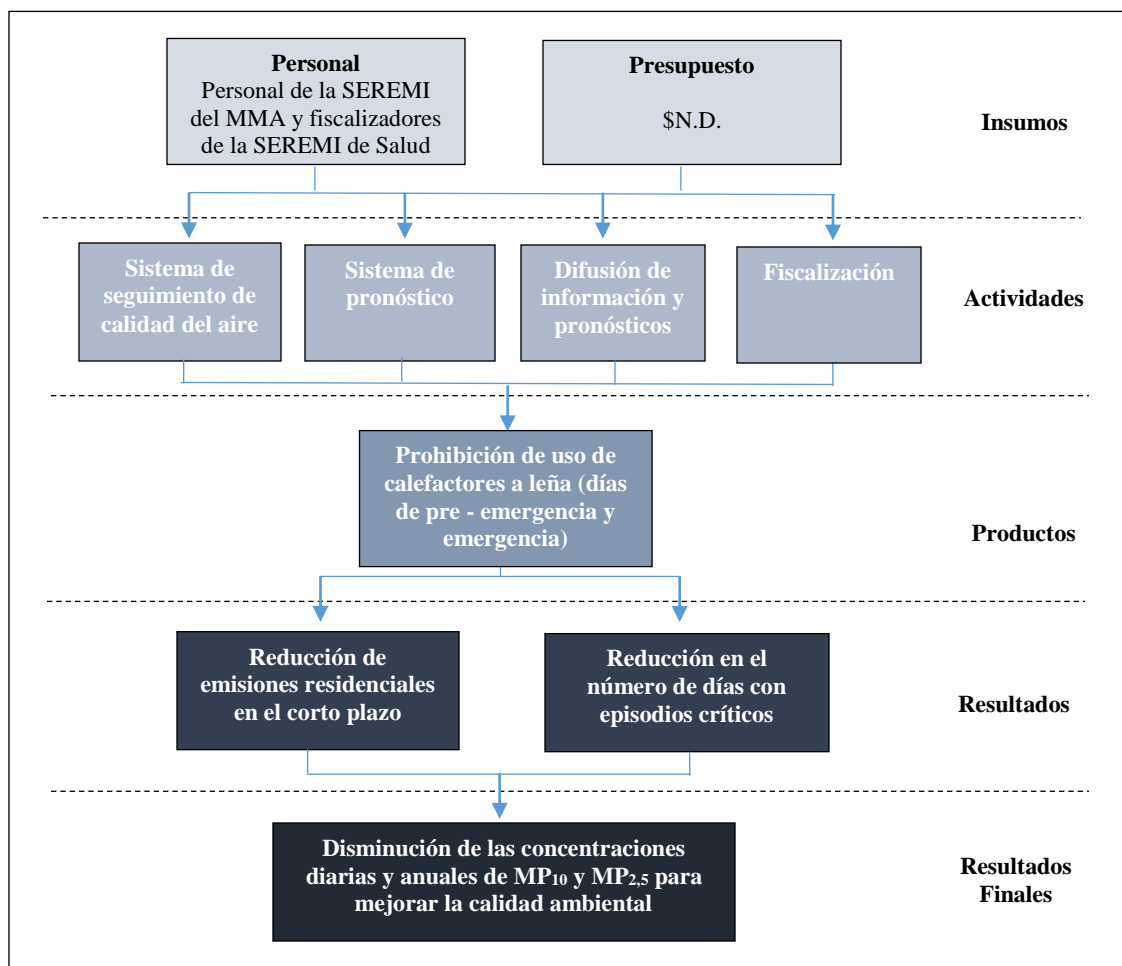
Actividades del programa: Las principales actividades están asociadas a la subdivisión de zonas territoriales (polígonos) de gestión de episodios críticos, implementación un sistema de seguimiento de la calidad del aire para MP₁₀ y MP_{2,5}, implementación de un sistema de pronóstico para los mismos contaminantes que permita anticipar al menos con 24 horas la posible ocurrencia de episodios críticos, desarrollo de un plan de difusión del pronóstico de la calidad del aire y acciones preventivas o de mitigación, y finalmente, la fiscalización de las prohibiciones implementadas de acuerdo al tipo de episodio crítico.

Productos del programa: El principal producto del programa es el cumplimiento de la prohibición del uso de calefactores a leña en los horarios establecidos.

Resultados del programa: Los resultados que se esperan alcanzar en el corto plazo están relacionadas con una reducción significativa de los niveles de emisiones de material particulado por combustión residencial en los días de episodios críticos. Otro resultado esperado en el corto plazo es una reducción en los días con episodios críticos.

Resultados finales del Programa: El programa busca en el largo plazo contribuir a reducir los niveles de concentraciones diarias y anuales de material particulado en las comunas de Temuco y Padre las Casas.

Figura 44. Representación gráfica de la teoría del cambio de programa de gestión de episodios críticos



Fuente: Elaboración propia

6.1.7 HIPÓTESIS

Las hipótesis que se pretenden responder con la evaluación ex - post requieren que la información pueda ser levantada, recopilada o esté disponible al momento de la evaluación. Específicamente, se requiere que el indicador de desempeño, es decir, la variable de resultado del programa sea medible en términos cuantitativos. Además, la mayoría de las metodologías de evaluación requieren que el valor del indicador debe haber sido monitoreado en el periodo previo y posterior a la implementación del programa, tanto para los postulantes beneficiados como para los postulantes no beneficiados, o bien, para hogares seleccionados como grupo de control. Lo anterior, permite construir el escenario contrafactual bajo un diseño cuasi - experimental o no experimental.

A partir de la cadena de resultados de los programas de recambio de calefactores y aislamiento térmico es posible observar que el principal efecto esperado de la aplicación de

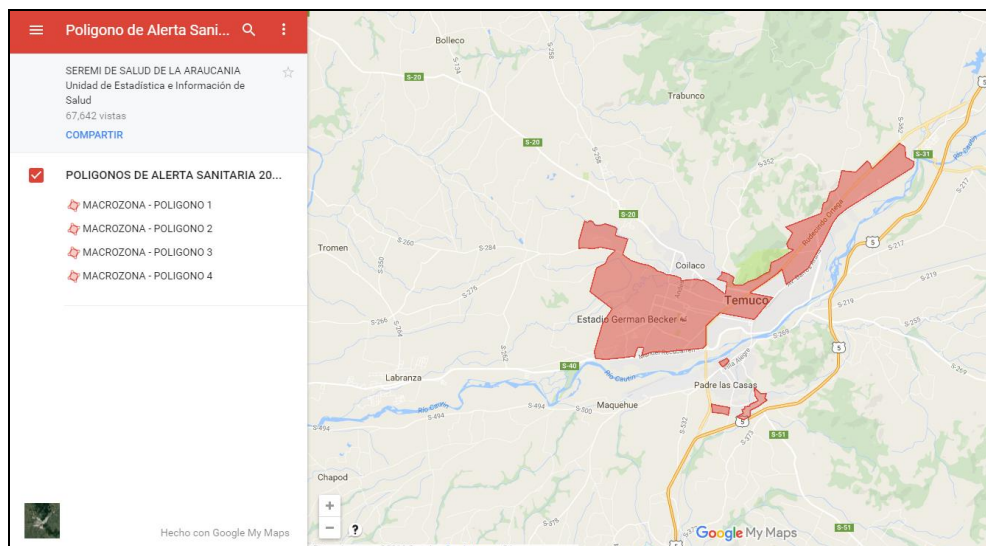
estos programas corresponden a la reducción las emisiones residenciales. Sin embargo, como no es posible obtener una medición exacta de las emisiones en cada vivienda por su dificultad técnica y alto costo, lo lógico es definir las hipótesis del estudio basándose en los cambios en los consumos de leña, y además, al usar factores de emisión representativos para cada tipo de calefactor se podría inferir indirectamente el cambio en las emisiones. En consecuencia, la hipótesis para ambos programas se basa en determinar si el valor promedio del consumo de leña (o emisiones) es igual entre los grupos de tratamiento y control, es decir, si el efecto promedio del tratamiento es cero. Adicionalmente, se podría evaluar la hipótesis de si el tipo de artefacto escogido por el hogar en el programa de recambio de calefactores genera un efecto diferente en el consumo de leña o emisiones del hogar. En el caso del programa de aislamiento térmico de viviendas se podría evaluar la hipótesis de si un monto de subsidio específico genera un efecto diferenciado en el consumo de leña respecto a otros montos de subsidio. Sin embargo, en ambos casos para poder realizar el testeo de estas últimas hipótesis se requería mayor cantidad de datos que los mínimos requeridos para hacer las hipótesis señaladas en el párrafo previo. En consecuencia, aun cuando se pueden testear las hipótesis para estos subgrupos, el número de observaciones no permitirá obtener resultados que sean representativos estadísticamente, porque el tamaño muestral propuesto en este estudio fue calculado para evaluar los programas de forma consolidada pero no para subgrupos específicos.

A partir de la cadena de resultados del PDA de Temuco y Padre Las Casas como política consolidada se concluye que el efecto esperado es la reducción en las concentraciones de material particulado. En este caso, a partir de las estaciones de monitoreo instaladas en la zona saturada es posible obtener el nivel de contaminación ambiental antes y después de la implementación del PDA, mientras que el escenario contrafactual puede obtenerse a partir de los niveles de contaminaciones en otras ciudades que cuenten con estaciones de monitoreo para el mismo periodo pero que aún no hayan implementado un PDA o que lo hayan implementado en una fecha diferente. En consecuencia, la hipótesis para el PDA se basa en determinar si condicionando por factores meteorológicos el valor promedio de las concentraciones de material particulado no es diferente luego de la aplicación del PDA, es decir, si el efecto promedio del tratamiento es cero.

Finalmente, la cadena de resultados del programa de gestión de episodios críticos señala que el efecto esperado es la reducción significativa de las concentraciones de material particulado en el corto plazo, es decir, en el día y horarios en los cuales se establece la prohibición de uso de leña o de humos visibles. En este caso, a partir de las estaciones de monitoreo instaladas en el polígono con la prohibición de uso de calefactores es posible obtener el nivel de contaminación ambiental antes y después de la declaración de episodio crítico, mientras que el escenario contrafactual puede obtenerse a partir de los niveles de contaminaciones en la zona fuera del polígono que cuenten con estaciones de monitoreo para el mismo periodo pero que por su ubicación no hayan implementado la prohibición (ver Figura 45). En consecuencia, la hipótesis para el programa de gestión de episodios críticos se basa en determinar si condicionando por factores meteorológicos el valor promedio de las concentraciones de material particulado no es diferente luego de la

aplicación de la prohibición de uso de calefactores entre las 18:00 y 6:00 hrs, es decir, si el efecto promedio del tratamiento es cero.

Figura 45. Polígonos de Alerta Sanitaria en Temuco y Padre Las Casas



Fuente: Google Earth

6.1.8 INDICADORES DE DESEMPEÑO

El indicador de desempeño para el programa de recambio de calefactores es el consumo de leña en m^3 , alternatively al aplicar factores de emisión representativos por tipo de artefacto se podría definir como indicador de desempeño el nivel de emisiones (kg/año).

El indicador de desempeño para el programa de aislamiento térmico es el consumo de leña en m^3 , alternatively al aplicar factores de emisión representativos por tipo de artefacto se podría definir como indicador de desempeño el nivel de emisiones (kg/año).

El indicador de desempeño si se define como tratamiento el conjunto de medidas establecidas en el PDA es el nivel de concentraciones de MP_{10} y/o $MP_{2,5}$ con periodicidad mensual.

El indicador de desempeño para el programa de gestión de episodios críticos es el nivel de concentraciones de MP_{10} y/o $MP_{2,5}$ con periodicidad horaria.

En la Tabla 23 se presenta el resumen de los diferentes aspectos discutidos en esta sección.

Tabla 23. Resumen de preguntas, indicadores de desempeño e hipótesis

	PDA como política consolidada	Gestión de episodios críticos	Recambio de calefactores	Aislación de viviendas
Principal pregunta de evaluación	¿Cuál es la reducción en el nivel de concentraciones por la implementación del PDA?	¿Cuál la reducción en el nivel de concentraciones por la implementación de la Gestión de Episodios Críticos?	¿Cuál es la reducción en el consumo de leña o emisiones por ser beneficiario del programa de recambio de calefactores?	¿Cuál es la reducción en el consumo de leña o emisiones por ser beneficiario del programa de aislamiento térmico de viviendas?
Hipótesis	Las concentraciones mensuales no son afectadas por la implementación del PDA	Las concentraciones horarias no son afectadas por la implementación de restricciones al uso de calefactores a leña durante GEC	El consumo de leña o emisiones no se reduce en los hogares beneficiados con el programa de recambio de calefactores	El consumo de leña o emisiones no se reduce en los hogares beneficiados con el programa de aislamiento de viviendas
Indicador de desempeño	Concentración de MP ₁₀ y/o MP _{2,5} mensual	Concentración de MP ₁₀ y/o MP _{2,5} horaria	Consumo anual de leña en m ³ /año o emisiones de MP _{2,5} en kg/año	Consumo anual de leña en m ³ /año o emisiones de MP _{2,5} en kg/año

Fuente: Elaboración propia

6.2 ESTRATEGIA DE IDENTIFICACIÓN, GRUPOS DE CONTROL Y SUPUESTOS ASOCIADOS

Dados los antecedentes disponibles se ha establecido que las primeras hipótesis de investigación están relacionadas con el cambio en los niveles de consumo de leña y emisiones en los hogares que han sido beneficiados por los programas de recambio de calefactores y aislamiento térmico de viviendas.

Existe una línea base para los postulantes del programa de recambio de calefactores, y además, en esta consultoría se logró construir una línea base para un subgrupo de los postulantes del programa de aislamiento térmico al empalmar los RUT de los postulantes de este programa con los RUT de los postulantes del programa de recambio de calefactores, lo cual facilita significativamente la construcción de un potencial grupo de control. No obstante, como en los datos de línea base el nivel de consumo de leña en m³ está clasificado en rangos y es más útil una variable continua, se debe mejorar la línea base al utilizar la información levantada en la presente consultoría consultando en la encuesta los niveles de consumo de leña previo a ser beneficiado por el programa, así como también algunas otras variables caracterizadoras que según los análisis estadísticos son determinantes de la participación en el programa y el consumo de leña. En este caso el grupo de control es definido como hogares localizados cerca de los hogares que han sido beneficiados por alguno de los programas previamente mencionados. Al tener los datos tanto de línea base como de seguimiento para ambos programas, se puede utilizar una técnica de diferencias en

diferencias o *matching* con diferencias en diferencias para determinar el impacto de ambos programas en el consumo de leña y testear las hipótesis planteadas²⁷.

En el caso de la evaluación del PDA como un programa consolidado el indicador de desempeño es el nivel de concentraciones con periodicidad mensual, ya que de esta forma se puede obtener variabilidad suficiente para la variable de resultado, y luego de esta forma, relacionarla con la fecha de implementación del PDA, tanto para las ciudades bajo tratamiento como para las ciudades utilizadas como control. El grupo de control en este caso es algo más difuso pero se construye a partir de aquellas ciudades en las cuales no se ha implementado un PDA o bien ciudades en las cuales la implementación del PDA fue en una fecha diferente a la fecha en la cual se implementó el PDA de Temuco y Padre Las Casas. Así, se puede utilizar una técnica de diferencias en diferencias para determinar el impacto de la implementación de un PDA sobre las concentraciones para testear la hipótesis planteada. Cabe señalar, que esta estrategia de identificación se puede realizar porque en Chile se han implementado diferentes PDA para poder reducir los niveles de contaminación en zonas específicas que han sido declaradas como saturadas²⁸. Por lo anterior, es posible observar diversos PDA en la zona centro - sur que se han ido aplicando en diferentes periodos de tiempo.

Una alternativa más atractiva hubiese sido evaluar el impacto específico de las medidas del PDA de Temuco y Padre Las Casas, tomando como control las medidas incorporadas en los PDA de zonas similares del centro - sur de Chile. En este caso, también se requeriría utilizar datos mensuales de las concentraciones a nivel comunal (promedio de las estaciones de monitoreo en cada comuna), el problema práctico es la imposibilidad de relacionarlos con el número de recambio de calefactores, subsidios de aislación, campañas educacionales, campañas de fiscalización de humedad de la leña u otras medidas que van modificándose a través del tiempo en cada comuna, y que además, han sido implementadas en distintos momentos del tiempo en las diferentes comunas del centro - sur de Chile. Lo anterior, se explica porque los datos oficiales de algunos programas solo registran la fecha en la cual fueron asignados pero no la fecha en la que efectivamente fueron ejecutados, y además, los mismos informes oficiales de diferentes periodos se contradicen respecto al número de subsidios o recursos asignados en una determinada fecha, por ejemplo en un informe anual de la SEREMI del MMA de la Región de la Araucanía se señala que se entregó un cierto número de subsidios, y luego, en un informe anual posterior se presentan otras cifras para el mismo periodo (ver Tabla 1). En consecuencia, aunque sería posible

²⁷ Otras metodologías no experimentales como regresión discontinua no se pueden utilizar porque no hay un puntaje de corte válido para la selección de beneficiarios que permita identificar el impacto cerca de esa discontinuidad, tampoco existe una variable instrumental relacionada con la probabilidad de participar en estos programas y no relacionada con la variable de resultado que permita identificar el impacto del tratamiento, y el método de función de control tiene supuestos demasiados restrictivos al utilizar solo información de corte transversal.

²⁸ En este caso otros métodos no experimentales como *matching* no serían útiles porque existe una gran cantidad de periodos de tiempo pero muy pocas unidades para generar un grupo de control, el método de regresión discontinua no se puede aplicar porque no hay un puntaje de corte sobre la probabilidad de tener un PDA, el método de variables instrumentales requiere un instrumento que no está disponible, y el método de la función de control no aplica para el tipo de datos disponibles.

obtener el impacto de estas medidas, y también, condicionar por factores que varían en el tiempo entre comunas como estacionalidad mensual, características socioeconómicas comunales, temperatura, precipitaciones y otras condiciones meteorológicas, el problema práctico surge porque no hay una disponibilidad de datos oficiales confiables que establezcan el mes específico en el cual se ejecutaron las medidas (ver sección 4.4). Específicamente, para evaluar el impacto individual de cada medida se requieren datos precisos sobre su implementación temporal de forma mensual, lo cual puede incluir número de actividades realizadas (fiscalización en puntos de venta, fiscalización en hogares, campañas de educación, campañas de difusión, entre otras), subsidios entregados (recambio de calefactores instalados, ejecución de mejoramiento térmico de las viviendas), entre otras medidas.

Finalmente, para la evaluación del programa de gestión de episodios críticos el indicador de desempeño es el nivel de concentraciones con periodicidad horaria, ya que de esta forma se puede obtener variabilidad suficiente para la variable de resultado y relacionarla con el día en que se estableció la ocurrencia de episodio crítico, tanto para la zona de prohibición que está establecida dentro del polígono como para la zona que está fuera del polígono y que es utilizada como control. En este caso el grupo de control está conformado por las mediciones de concentraciones a nivel horario en la estación de monitoreo ubicada en Padre Las Casas ya que en esta zona no se aplicaron restricciones asociadas a la gestión de episodios críticos. Así, se puede utilizar una técnica de diferencias en diferencias para determinar el impacto de la implementación de un PDA sobre las concentraciones para testear la hipótesis planteada²⁹.

En la Tabla 24 se resume la información asociada a los métodos utilizados para identificar el impacto del programa, la definición de los grupos de control y los supuestos asociados.

²⁹ En este caso tampoco es posible aplicar otros métodos no experimentales por las mismas razones discutidas en la nota al pie anterior.

Tabla 24. Resumen de estrategia de identificación, grupos de control y supuestos asociados

	PDA como política consolidada	Gestión de episodios críticos	Recambio de calefactores	Aislación de viviendas
Estrategia de identificación	Método de diferencias en diferencias	Método de diferencias en diferencias	Método de diferencias en diferencias y método de <i>matching</i> con diferencias en diferencias	Método de diferencias en diferencias y método de <i>matching</i> con diferencias en diferencias
Grupos de control	Comunas con características de emisiones y meteorológicas similares que no han implementado aún un PDA o lo implementaron en un periodo diferente al PDA de Temuco y Padre Las Casas	Estación de monitoreo ubicada en la zona de Padre Las Casas en la cual no se han realizado prohibiciones asociadas a la gestión de episodios críticos	Hogares no beneficiados con el programa de recambio de calefactores o aislamiento térmico pero que se ubican cerca de hogares beneficiados	Hogares no beneficiados con el programa de recambio de calefactores o aislamiento térmico pero que se ubican cerca de hogares beneficiados
Supuestos asociados	Se asume que los factores no observables a nivel comunal permanecen constantes en el tiempo y que los factores no observables entre el grupo de tratamiento y control siguen tendencias similares a través del tiempo	Se asume que los factores no observables a nivel de estación de monitoreo permanecen constantes en el tiempo y que los factores no observables entre el grupo de tratamiento y control siguen tendencias similares a través del tiempo	En el método de diferencias en diferencias se asume que los factores no observables a nivel de hogar permanecen constantes en el tiempo y que los factores no observables entre el grupo de tratamiento y control siguen tendencias similares a través del tiempo. El método de <i>matching</i> asume que la selección solo se basa en características observables, pero al combinarlo con el método de diferencias en diferencias permite controlar por características no observables que permanecen constantes en el tiempo	En el método de diferencias en diferencias se asume que los factores no observables a nivel de hogar permanecen constantes en el tiempo y que los factores no observables entre el grupo de tratamiento y control siguen tendencias similares a través del tiempo. El método de <i>matching</i> asume que la selección solo se basa en características observables, pero al combinarlo con el método de diferencias en diferencias permite controlar por características no observables que permanecen constantes en el tiempo

Fuente: Elaboración propia

6.3 METODOLOGÍAS PROPUESTAS PARA LA EVALUACIÓN EX - POST

En el contexto de esta consultoría no es posible estimar el impacto de ninguno de los cuatro programas evaluados con una regresión de mínimos cuadrados ordinarios, ya que esta metodología requiere que la variable de tratamiento y las variables de control no estén correlacionadas con variables no observables. Al no ser posible controlar por todos estos factores no observables el efecto estimado del programa estaría sesgado ya que se compararía al grupo de tratamiento con un grupo de control que no tiene similares características observables (como por ejemplo, el ingreso) y no observables (como por ejemplo, el análisis costo – beneficio que realizan los postulantes al programa). Sin embargo, se pueden utilizar estimadores de diferencias en diferencias, variables instrumentales, función de control o alguna otra técnica econométrica que permita solucionar este problema de endogeneidad.

De acuerdo al análisis exhaustivo de cada programa y los datos disponibles para realizar la evaluación ex - post, se puede concluir que el PDA como programa consolidado, el programa de gestión de episodios críticos, el programa de recambio de calefactores y el programa de aislamiento térmico de viviendas pueden ser estimados todos ellos a través del método de diferencias en diferencias, a partir de una base de datos de panel con los niveles de concentraciones de contaminantes a nivel comunal para la aplicación del PDA como un programa consolidado y con los niveles de concentraciones de contaminantes a nivel de estación de monitoreo dentro y fuera del polígono de Temuco y Padre Las Casas para el programa de gestión de episodios críticos (utilizando las bases de datos construidas en esta consultoría a partir de la información de las estaciones de monitoreo del SINCA), o bien, con los niveles de consumo de leña de los hogares que participaron en los programas de recambio de calefactores y aislamiento térmico (utilizando la base de datos levantada a partir de la encuesta diseñada en la presente consultoría). Adicionalmente, por la naturaleza de los datos a nivel de hogares en el caso de los programas de recambio de calefactores y el programa de aislamiento térmico de viviendas, también se puede utilizar el método de *matching* con diferencias en diferencias para estimar el impacto de estos programas. A continuación se describen técnicamente estas metodologías.

6.3.1 TÉCNICA DE DIFERENCIAS EN DIFERENCIAS

El estimador de diferencias en diferencias (DID) compara la diferencia en el efecto promedio para el grupo de tratamiento antes y después del tratamiento con respecto a la diferencia en el efecto promedio para el grupo de control antes y después de la fecha en la cual se aplicó el tratamiento.

El estimador de diferencias en diferencias permite estimar consistentemente el efecto promedio del tratamiento en el grupo tratado (conocido como *Average Treatment Effect on Treated*, ATT). El principal supuesto de este estimador es que el cambio experimentado por el grupo de control, en el periodo que transcurre antes y después de tratamiento, es una buena estimación del cambio que hubiese experimentado el grupo que recibió el tratamiento si es que no lo hubiese recibido. Lo anterior, se debe a que el método asume

que los factores no observables permanecen constantes en el tiempo, es decir, que existen efectos temporales comunes a través de los dos grupos y que no cambia sistemáticamente la composición dentro de cada grupo.

Para identificar el impacto del tratamiento cuando existe una base de datos de panel con más de dos periodos de tiempo se puede utilizar un estimador de efectos fijos, el cual asume que los factores no observables a nivel individual permanecen constantes en el tiempo. Específicamente, una regresión con datos de panel se puede escribir como:

$$y_{it} = \alpha + X'_{it}\beta + u_{it}; \quad i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (1)$$

$$u_{it} = \mu_i + v_{it} \quad (2)$$

En donde y_{it} es la variable dependiente (consumo de leña, emisiones o concentraciones de material particulado), X'_{it} es un vector de k variables explicativas exógenas (que incluye la variable de tratamiento, y además, características de la vivienda, sociodemográficas o meteorológicas) y β es el vector de parámetros desconocidos a estimar. El subíndice i indica la unidad individual (hogar, comuna o estación de monitoreo), mientras que t denota la dimensión temporal (año, mes u hora del día). El término de error u_{it} se puede descomponer en dos variables, μ_i es un error aleatorio invariable en el tiempo que está asociado a cada unidad, mientras que v_{it} es un error aleatorio con media cero y que no está correlacionado a través del tiempo.

Una forma fácil de implementar esta regresión es a través del estimador LSDV (mínimos cuadrados con variables ficticias), en el cual se incluyen variables ficticias (*dummy*) a nivel individual en una regresión por mínimos cuadrados ordinarios. O alternativamente, se puede obtener al promediar (1) a través del tiempo para cada unidad i :

$$\bar{y}_i = \alpha + \beta\bar{x}_i + \mu_i + \bar{v}_i \quad (3)$$

Luego, restando (3) a (1) se tiene:

$$y_{it} - \bar{y}_i = \beta(x_{it} - \bar{x}_i) + (v_{it} - \bar{v}_i) \quad (4)$$

Así, el estimador de β puede ser obtenido al realizar una regresión de la ecuación (4). Cabe señalar que esta especificación de efectos fijos es útil cuando la inferencia se limita al comportamiento del grupo de unidades incluidas en la base de datos.

6.3.2 TÉCNICA DE MATCHING

Como segunda alternativa metodológica se podría utilizar el *matching* que se explica a continuación. En las técnicas de *matching* se busca para cada unidad dentro del grupo de los tratados las unidades más parecidas en el grupo de control. Este diseño es no experimental ya que el grupo de control es construido posteriormente de ser aplicado el tratamiento (T), desde otras bases de datos tomadas por el investigador, o incluso desde

fuentes secundarias. En este caso se asume que la selección del tratamiento se basa solo en elementos observables. Además, el efecto del tratamiento (α) queda definido como la esperanza de la variable de resultado en el grupo de tratamiento (Y_{i1}) dado que fue aplicado el tratamiento a la unidad i ($T_i = 1$) menos la esperanza de la variable de resultado en el grupo de control (Y_{i0}) si hubiese sido aplicado el tratamiento a la unidad i ($T_i = 1$):

$$\alpha |_{T=1} = E(Y_{i1} | T_i = 1) - E(Y_{i0} | T_i = 1) \quad (5)$$

El problema fundamental para la estimación del impacto causal es que no se puede tener la observación de la variable de resultado para los controles si estos recibieran el tratamiento. Sin embargo, la solución que propone esta metodología es una caracterización de las unidades, en donde la asignación del tratamiento es una función de un vector de características observables, lo que crea una aproximación a un experimento aleatorio.

Para lograr estimar el efecto del tratamiento por esta vía es necesario trabajar bajo las siguientes proposiciones:

Proposición 1: Si para cada observación se tiene un vector de características X_i , y además:

$$Y_{i1}, Y_{i0} \perp\!\!\!\perp T_i | X_i \quad \forall i \quad (6)$$

luego

$$\alpha |_{T=1} \equiv E(Y_{i1} | T_i = 1) - E(Y_{i0} | Y_i = 1) \quad (7)$$

$$= E_X \{ E(Y_{i1} | T_i = 1) - E(Y_{i0} | T_i = 0 | T_i = 1) \} \quad (8)$$

donde

$$Y_i = T_i Y_{i1} + (1 - T_i) Y_{i0} \quad (9)$$

De la proposición anterior se cumple que para cada observación existe un vector de características mediante el cual se puede realizar un proceso de *matching*, con el cual es posible que cada unidad o grupos de los participantes sea comparado con su símil o “gemelo” en el grupo de control, logrando así simular un diseño experimental. Es necesario dejar en claro que cada variable da lugar a un *matching*, en consecuencia por cada k características dicotómicas se tiene una combinación de 2^k posibles emparejamientos, lo que se traduce en que grandes vectores de características requerirían demasiadas observaciones para tener sistemas de *matching* estables.

Una solución para lo anterior se plantea bajo el concepto de *propensity score matching* que se fundamenta en la proposición 2.

Proposición 2: Dado $p(X_i)$ la probabilidad del individuo i de ser asignado al tratamiento es definida como:

$$p(X_i) = Pr(T_i = 1 | X_i) = E(T_i | X_i) \text{ donde } 0 < p(X_i) < 1 \quad \forall i \quad (10)$$

luego

$$(Y_{i1}, Y_{i0}) \perp\!\!\!\perp T_i | X_i \quad (11)$$

lo cual implica que

$$(Y_{i1}, Y_{i0}) \perp\!\!\!\perp T_i | p(X_i) \quad (12)$$

Rosembaum y Rubin (1983) demostraron que la independencia condicionada sobre las características se extiende al *propensity score*. El efecto inmediato de esta implicancia es que el problema de hacer *matching* con cada una de las variables que condicionan a los individuos contenidas en el vector de características X , se reduce a realizar un *matching* en base a un solo factor, en este caso la probabilidad de recibir el tratamiento que es conocido como *propensity score*.

Proposición 3:

$$X \perp\!\!\!\perp T | p(X) \quad (13)$$

En base a la proposición anterior se cumple que para dos *propensity score* iguales, las características entre ambas observaciones también están balanceadas. Para obtener la probabilidad de participar en el tratamiento de cada unidad se estima una regresión *logit* o *probit* sobre la variable binaria que indica el estado de la unidad (tratada o no tratada) en base a un vector de variables (X_i) que componen las características de la unidad. Finalmente, el estimador del impacto es la diferencia de los resultados entre las unidades tratadas y no tratadas con similares características usando ponderadores de la distribución de las características $p(X)$ entre los tratados, aunque se debe destacar que existen distintos algoritmos de *matching* que utilizan distintas ponderaciones para asociar el conjunto de unidades no tratadas a cada unidad tratada (el vecino más cercano, radio, *kernel*, entre otros). En la práctica, se sugiere utilizar diferentes algoritmos para sensibilizar los resultados y probar su robustez.

6.3.3 TÉCNICA DE *MATCHING* CON DIFERENCIAS EN DIFERENCIAS

El método *matching* con diferencias en diferencias (DIDM) fue introducido por Heckman et al. (1997). Este enfoque utiliza al grupo de tratamiento y selecciona otro grupo de control que no recibió el beneficio. Estos dos grupos son distintos, por lo cual presentan diferentes características observables y no observables que deben ser controladas. El método DIDM utiliza en conjunto DID y *matching*, este último permite seleccionar de la muestra elegible un grupo de control que es similar en características observables al grupo de tratamiento, mientras que el método DID compara al grupo de tratamiento y de control (primera diferencia), antes y después del programa (segunda diferencia), lo que permite el control por características no observables que pueden afectar a ambos grupos de diferentes

maneras. Por lo tanto, el enfoque de DIDM, permite identificar mejor que el *matching* el efecto de un programa, ya que controla características constantes no observables y observables.

Para ilustrar este método se puede definir una variable ficticia T , que toma el valor de uno para los individuos que participan en el programa y cero para los individuos que no participan en él. El efecto promedio sobre los tratados (ATT) se identifica comparando el cambio del grupo de tratamiento con el cambio del grupo contrafactual entre el periodo t y $t + 1$.

$$ATT = E(Y_{t+1}^1 - Y_t^0 | T = 1) - E(Y_{t+1}^0 - Y_t^0 | T = 1) \quad (14)$$

El problema que surge es que el contrafactual $E(Y_t^0 - Y_{t+1}^0 | T = 1)$ no es observable, por lo que es necesario realizar la siguiente aproximación (Smith & Todd, 2005).

$$E(Y_{t+1}^0 - Y_t^0 | T = 1) = E(Y_{t+1}^0 - Y_t^0 | T = 0) \quad (15)$$

Esta aproximación según Chabé - Ferret (2014) tiene un sesgo de selección $B(x)$ dado por:

$$B(x) = E(Y_{t+1}^0 - Y_t^0 | T = 1) - E(Y_{t+1}^0 - Y_t^0 | T = 0) \quad (16)$$

La estimación de *matching* asume que el condicionamiento en X elimina este sesgo. Para que esto sea cierto Heckman et al. (1997) identifican dos requerimientos básicos. Primero que existe un conjunto de variables de condicionamiento Z (un subconjunto de X), para el cual el resultado de no participación Y^0 es independiente del estatus de participación T condicionada en Z , es decir, se asume que $\{Y^0 \perp T | Z\}$. Segundo, que para todo Z hay una probabilidad positiva de ser participante ($T = 1$) o no participante ($T = 0$), esta condición implica que se puede encontrar un *match* para todos los tratados ($T = 1$). Cuando el parámetro de interés es ATT se requiere solo la posibilidad de emparejar un no participante para cada participante. Sin embargo, esta última condición debe mantenerse en ambos periodos.

Finalmente, los cambios en los resultados entre el grupo de tratados y el grupo de control que fueron emparejados se utilizan para estimar el ATT, el cual está dado por Smith & Todd (2005):

$$ATT_{DIDM} = \frac{1}{n_1} \sum_{i \in I_1 \cap S_P} \left[(Y_{i,t+1}^1 - Y_{i,t}^0) - \sum_{j \in I_0 \cap S_P} W(i,j) (Y_{j,t+1}^0 - Y_{j,t}^0) \right] \quad (17)$$

Donde I_1 denota un conjunto de participantes del programa, I_0 un conjunto de no participantes, S_P es la región de soporte común y n_1 es el número de individuos en el conjunto $I_1 \cap S_P$. El emparejamiento para cada participante $i \in I_1 \cap S_P$ es construido por un promedio ponderado sobre los resultados de los no participantes, donde los pesos $W(i,j)$ dependen de la distancia entre los *propensity score matching* P_i y P_j .

7 DESARROLLO DE ACTIVIDADES DEL COMPONENTE N° 4

7.1 DEFINIR LAS UNIDADES DE ANÁLISIS, EL TRATAMIENTO, EL CONTEXTO DE EVALUACIÓN, ENTRE OTROS.

En este informe se desarrollan cuatro evaluaciones ex – post en el marco del Plan de Descontaminación de Temuco y Padre Las Casas. Dos de ellas con datos secundarios y dos con datos primarios levantados en la presente consultoría. A continuación se realiza una descripción detallada de los aspectos centrales de cada evaluación ex - post.

7.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EVALUACIÓN EX – POST DEL PDA DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS COMO PROGRAMA CONSOLIDADO

Tratamiento: En Chile se han declarado zonas saturadas que justifican la aplicación de planes de descontaminación (PDA). Estos planes son instrumentos de gestión ambiental que incluyen un conjunto específico de medidas, regulaciones, instrumentos y acciones complementarias que buscan reducir las emisiones de las principales fuentes en la zona saturada para recuperar los niveles establecidos en las normas primarias de calidad ambiental. Específicamente, en la zona de Temuco y Padre Las Casas se aplicó un PDA para reducir las concentraciones de MP₁₀ en junio de 2010, el cual fue posteriormente reemplazado en noviembre de 2015 por un PDA que se enfocó en la reducción del MP_{2,5}.

Pregunta de evaluación: ¿Cuál es la reducción en el nivel de concentraciones por la implementación de un PDA en una zona saturada?

Hipótesis: Las concentraciones mensuales no son afectadas por la implementación de un PDA en una zona saturada.

Unidades de análisis: La unidad de análisis corresponde a la zona geográfica (estación de monitoreo) en la cual existen mediciones de concentraciones de material particulado en forma continua y por un prolongado periodo de tiempo, ya que la variable de resultado es el nivel de concentraciones con periodicidad mensual. Para esta evaluación son relevantes las zonas en el centro - sur de Chile que cuenten con un plan de descontaminación y/o prevención para reducir los niveles de concentración de material particulado, y que además, tengan un alto porcentaje de emisiones totales generadas por fuentes residenciales. También, es relevante tener unidades de análisis para el grupo de control, que en este caso pueden ser zonas geográficas que aún no cuenten con un plan vigente o haya sido implementado en una fecha diferente al PDA de Temuco y Padre Las Casas y que tengan estaciones de monitoreo con mediciones de concentraciones de material particulado para periodos similares, lo anterior con el objetivo de definir un escenario contrafactual creíble.

Selección de tratados: Las zonas geográficas con PDA que cumplen con las características requeridas para la evaluación fueron presentados en la Tabla 19. En particular, estas zonas se caracterizan porque tienen altos niveles de penetración de uso de leña para calefacción

residencial y algunas de ellas comparten algunas características porque están localizadas en la zona centro - sur de Chile³⁰.

Selección de muestra: Además, de incluir las zonas que tengan uno de los planes mencionados en la tabla anterior, también se deberían incluir zonas que aún no cuenten con un PDA pero que tengan características similares y suficientes datos de concentraciones y variables meteorológicas en las estaciones de monitoreo. Después de un detallado análisis de los datos disponibles se concluyó que solo se puede incluir la zona de Valdivia porque su PDA está en tramitación final y no estuvo vigente para el periodo de datos analizados en la presente evaluación ex – post. Otras zonas como Curicó, Coronel y Talcahuano aunque cuentan con información meteorológica suficiente no pueden ser incluidas por la falta de datos para concentraciones mensuales en el periodo de interés. Lo anterior, no significa que la ciudad de Valdivia actúe como único control, ya que también las diferencias en las fechas de implementación de un PDA en otras zonas permiten caracterizar las concentraciones en el grupo de control, por ejemplo Talca y Maule, Chillán y Chillán Viejo, Temuco y Padre Las Casas, Osorno, y Coyhaique entre mayo de 2013 y noviembre de 2015 forman parte del grupo de control para la aplicación del PDA en el Valle Central de O’Higgins.

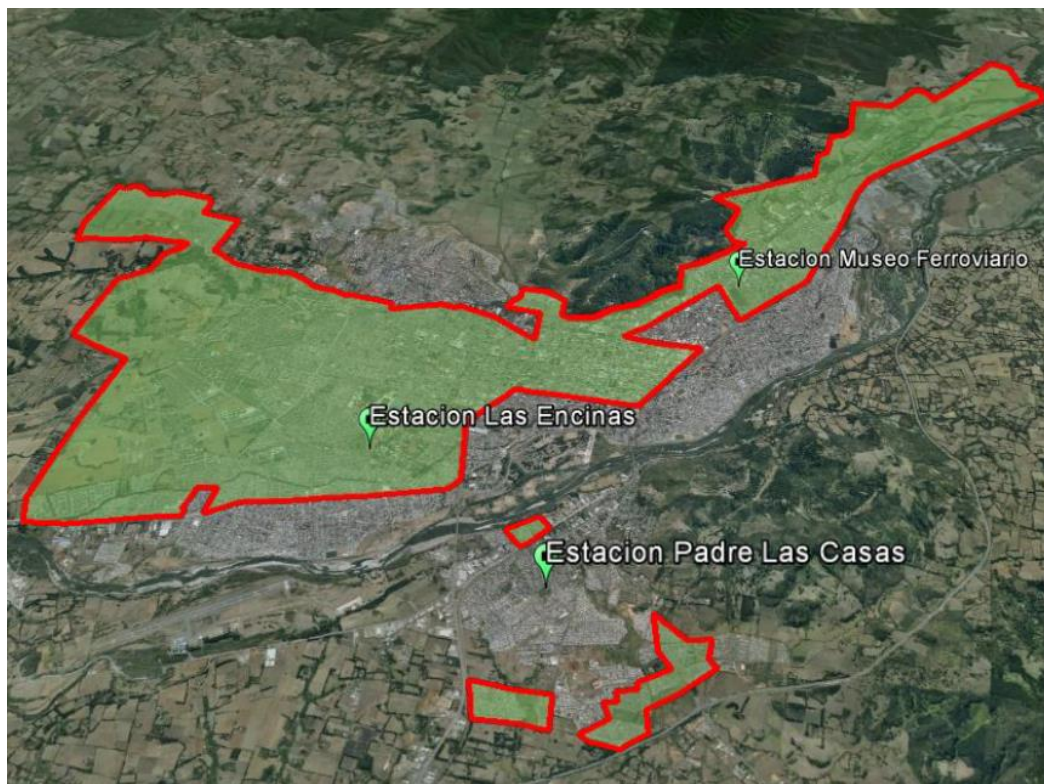
Contexto de evaluación: El efecto esperado del PDA de Temuco y Padre Las Casas es la reducción en las concentraciones de material particulado. En consecuencia, la evaluación ex - post del PDA como un programa consolidado se basa en determinar si al condicionar por factores meteorológicos el valor promedio de las concentraciones mensuales de material particulado no es diferente luego de la aplicación del PDA, es decir, si el efecto promedio del tratamiento es cero. Como los datos para el grupo de tratamiento y control están disponibles a nivel mensual se propone para la identificación del impacto del programa una metodología cuasi - experimental de diferencias en diferencias para aprovechar la estructura de datos de panel.

7.1.2 DESCRIPCIÓN DE LA EVALUACIÓN EX – POST DEL PROGRAMA DE GESTIÓN DE EPISODIOS CRÍTICOS

Tratamiento: El programa de Gestión de Episodios Críticos es implementado por la SEREMI del Medio Ambiente de la Región de La Araucanía para enfrentar los episodios de alta contaminación del aire en ciertas zonas geográficas de Temuco y Padre Las Casas, durante el periodo comprendido entre el 1° de abril y 30 de septiembre de cada año. Actualmente, este programa en situación de pre - emergencia prohíbe el uso de más de un artefacto a leña por vivienda, humos visibles y calderas a leña con potencia térmica nominal menor a 75 kWt entre las 18:00 y las 6:00 hrs, mientras que en situación de emergencia prohíbe el uso de cualquier artefacto a leña y caldera a leña con potencia térmica nominal menor a 75 kWt entre las 18:00 y las 6:00 hrs. Los áreas con prohibición se presentan delimitadas en la Figura 46.

³⁰ Los PDA de Los Ángeles y Valdivia no son incluidos porque aún están en su etapa final de aprobación y no han entrado oficialmente en vigencia.

Figura 46. Polígonos de Alerta Sanitaria y Estaciones de Monitoreo en Temuco y Padre Las Casas



Fuente: SEREMI del Medioambiente Región de La Araucanía

Pregunta de evaluación: ¿Cuál es la reducción en el nivel de concentraciones por la implementación del programa de gestión de episodios críticos?

Hipótesis: Las concentraciones horarias no son afectadas por la implementación de restricciones al uso de calefactores a leña durante un episodio crítico.

Unidades de análisis: La unidad de análisis corresponde a las estaciones de monitoreo ubicadas en áreas geográficas con y sin prohibición (dentro o fuera de los polígonos delimitados por las líneas rojas) durante los episodios críticos, para las cuales existen mediciones de concentraciones de material particulado en forma continua y por un prolongado periodo de tiempo, ya que la variable de resultado de interés es el nivel de concentraciones con periodicidad horaria.

Selección de tratados: Las estaciones de monitoreo Museo Ferroviario y las Encinas están ubicadas dentro del polígono de prohibición de uso de leña o de humos visibles, por lo cual se transforman en las unidades bajo tratamiento.

Selección de muestra: Además de incluir los datos históricos de las concentraciones horarias de las estaciones de monitoreo que estén localizadas en el área de prohibición durante los episodios críticos, también se incluyen los datos de la única estación de monitoreo (Padre Las Casas II) que está ubicada fuera del polígono para constituir el grupo de control.

Contexto de evaluación: El efecto esperado del programa de Gestión de Episodios Críticos en Temuco y Padre Las Casas es la reducción significativa de las concentraciones de material particulado en los días y horarios de implementación de episodios críticos. En consecuencia, la evaluación ex - post del programa busca determinar si al condicionar por factores meteorológicos el valor promedio de las concentraciones horarias de material particulado no es diferente luego de la aplicación de la prohibición de uso de calefactores entre las 18:00 y 6:00 hrs, es decir, si el efecto promedio del tratamiento es cero. Como los datos disponibles para el grupo de tratamiento y control están disponibles a nivel horario se propone para la identificación del impacto del programa una metodología cuasi - experimental de diferencias en diferencias para aprovechar la estructura de datos de panel.

7.1.3 DESCRIPCIÓN DE LA EVALUACIÓN EX – POST DEL PROGRAMA DE RECAMBIO DE CALEFACTORES

Tratamiento: El programa de recambio de calefactores busca reducir las emisiones generadas por la combustión residencial de leña en el centro - sur de Chile. Este programa del MMA abre postulaciones cada año para quienes requieran cambiar sus calefactores a leña antiguos por nuevos calefactores más eficientes y con bajas tasas de emisión de material particulado. En el contexto del PDA de Temuco y Padre Las Casas, la población objetivo corresponde a hogares que posean viviendas ubicadas en zonas urbanas y que tengan instalado un artefacto a leña que se encuentre en uso. La postulación a este programa se puede realizar vía Internet o de forma presencial. Los hogares beneficiados con el programa pueden reemplazar su actual artefacto de calefacción a leña por un sistema de calefacción más limpio y eficiente. Las alternativas disponibles para el recambio son calefactores a kerosene (parafina), pellet, gas licuado y calefactor a leña certificado. Sin embargo, en la práctica solo han sido escogidos artefactos a kerosene, pellet y leña en Temuco y Padre Las Casas. Los beneficiarios deben entregar su artefacto a leña antiguo para su destrucción, y además, cancelar una cuota de instalación a la empresa encargada de instalar el nuevo equipo, la cual puede ser pagada en efectivo, tarjeta de débito o crédito.

Pregunta de evaluación: ¿Cuál es la reducción en el consumo de leña o las emisiones de MP_{2,5} generadas por la combustión residencial luego de ser beneficiario del programa de recambio de calefactores?

Hipótesis: El nivel de consumo de leña o emisiones de MP_{2,5} no se reduce en los hogares beneficiados con el programa de recambio de calefactores.

Unidades de análisis: En relación a las unidades de análisis estas corresponden a las hogares que deciden postular al programa en las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

En este sentido, de acuerdo a los datos de la SEREMI del MMA de la Región de La Araucanía, entre los años 2015 y 2016 postularon 11550 hogares al programa de recambio de calefactores, de los cuales un 23,5% fueron beneficiados. Sin embargo, existen 3148 hogares que postularon a varios llamados realizados en ese periodo debido a que no fueron seleccionados previamente.

Selección de beneficiarios: En el caso de este programa el grupo de beneficiados no es representativo del grupo de postulantes ni tampoco es representativo de la población de Temuco y Padre Las Casas, ya que en esta consultoría se demostró que la probabilidad de obtener el beneficio era mucho mayor si en el grupo familiar existía al menos una persona de más de 60 años y si el estado del calefactor antiguo era malo, mientras que el tipo de calefactor poseído y el tipo de calefactor escogido también fueron relevantes, y además, las viviendas con mayor número de habitaciones y que obtuvieron algún subsidio de aislación SERVIU entre 2008 y 2015 incrementaron la probabilidad de ser beneficiados.

Selección de muestra: A partir de los datos sobre los postulantes entregados por el MMA y MINVU se elaboró una base de datos consolidada en la cual existe una columna que permite identificar a los postulantes preseleccionados, renuncias, listas de espera y beneficiarios del programa de recambio de calefactores y del programa de aislamiento térmico de viviendas. Luego, a todos los postulantes se les asignó un número aleatorio para ordenarlos de mayor a menor y se seleccionó a un subgrupo de hogares tratados con el programa de recambio de calefactores con el objetivo de encuestarlos para levantar la línea base año 2015 y ronda de seguimiento año 2017. El grupo de control está conformado por hogares que viven cerca de los hogares tratados encuestados (a una, tres, cinco, siete, etc. casas de distancia) con el objetivo que tengan características similares.

Contexto de evaluación: Como este programa se basa en llamados y los hogares deciden postular de forma voluntaria, existe sesgo de selección y los hogares beneficiados tienen características diferentes, se puede concluir que las únicas alternativas de evaluación ex – post corresponden a un diseño cuasi – experimental o no experimental. En consecuencia, para desarrollar la evaluación ex – post se requiere conocer el consumo de leña y otros energéticos para calefacción que poseía el postulante antes y después de la instalación del nuevo calefactor para estimar sus emisiones de MP_{2,5}, y también, otras características socioeconómicas del hogar y características de la vivienda que permitan ser utilizadas como variables de control en ambos periodos. Como las unidades de análisis son los hogares beneficiados entre los años 2015 y 2016, pero de acuerdo a información proporcionada por la SEREMI del MMA de la Región de la Araucanía, la fecha efectiva del recambio ocurrió a fines del año 2015, se decidió definir el periodo de 2015 y 2017 como aquel que permite caracterizar de mejor forma la situación base y la situación posterior a la aplicación del tratamiento.

7.1.4 DESCRIPCIÓN DE LA EVALUACIÓN EX – POST DEL PROGRAMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO

Tratamiento: El programa de aislamiento térmico es un subsidio que tiene por objetivo realizar una remodelación de la vivienda para acondicionarla térmicamente. Actualmente,

este programa de subsidio está destinado en primera instancia a las personas y hogares de menores ingresos, pero no excluye a hogares sin ficha de protección social o cuya vivienda supere las 650 UF. El subsidio base para aislación térmica es de 120 UF para cada vivienda, pero puede ampliarse en caso de que la vivienda cuente con una ampliación regularizada de hasta 90 m². Si el monto del subsidio no permite aislar el 100% de la vivienda, el beneficiario debe cancelar un copago pero los beneficiarios que pertenecen al 1°, 2° y 3° quintil de ingreso quedan exentos de este copago, el cual es aportado por el Estado. Además, el subsidio considera una regularización para aquellas viviendas que no se encuentran en dicha condición. Específicamente, el programa de aislamiento térmico consiste en la remodelación de techumbre, paredes, ventanas, entre otros, lo cual ayuda a reducir la pérdida de calor, permitiendo una reducción en el consumo de leña necesario para mantener una temperatura de confort dentro de la vivienda. Para adjudicar los subsidios de este programa se realizan llamados especiales de postulación en las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

Pregunta de evaluación: ¿Cuál es la reducción en el consumo de leña o las emisiones de MP_{2,5} por ser beneficiario del programa de aislamiento térmico de viviendas?

Hipótesis: El nivel de consumo de leña o emisiones de MP_{2,5} no se reduce en los hogares beneficiados con el programa de aislamiento de viviendas.

Unidades de análisis: Las unidades de análisis corresponden a los hogares que deciden postular al programa. De acuerdo a los datos del MINVU existieron 3886 postulantes en las comunas de Temuco y Padre Las Casas durante el periodo 2015 a 2016. El 91,2% de los postulantes obtuvo el beneficio y el monto del subsidio obtenido se encuentra mayoritariamente entre 120 UF y 240 UF.

Selección de beneficiarios: En el caso de este programa el grupo de beneficiados no es representativo del grupo de postulantes ni tampoco es representativo de la población de Temuco y Padre Las Casas, ya que se demostró que la probabilidad de ser beneficiario del programa se incrementa si la vivienda obtuvo un subsidio de aislación SERVIU entre los años 2008 - 2015.

Selección de muestra: A partir de los datos de los postulantes entregados por el MMA y MINVU se elaboró una base de datos consolidada en la cual existe una columna que permite identificar a los postulantes preseleccionados, renuncias, listas de espera y beneficiarios del programa de recambio de calefactores y del programa de aislamiento térmico de viviendas. Luego, a todos los postulantes se les asignó un número aleatorio para ordenarlos de mayor a menor y se seleccionó a un subgrupo de hogares tratados con el programa de aislamiento térmico con el objetivo de encuestarlos para levantar la línea base año 2015 y ronda de seguimiento año 2017. El grupo de control está conformado por hogares que viven cerca de los hogares tratados que fueron encuestados (a una, tres, cinco, siete, etc. casas de distancia) con el objetivo que tengan características similares.

Contexto de evaluación: Como este programa se basa en llamados y los hogares deciden postular de forma voluntaria, existe sesgo de selección y los hogares beneficiados tienen características diferentes, se puede concluir que las únicas alternativas de evaluación ex – post corresponden a un diseño cuasi – experimental o no experimental. En consecuencia, para desarrollar la evaluación ex – post se requiere conocer el consumo de leña y otros energéticos para calefacción que poseía el postulante antes y después de la mejora en la aislación para estimar sus emisiones de $MP_{2,5}$, y también, otras características socioeconómicas del hogar y características de la vivienda que permitan ser utilizadas como variables de control en ambos periodos. De acuerdo a la base de datos proporcionada por el MINVU la fecha de registro más antigua de los hogares en el programa de aislación ocurrió en septiembre del año 2015, y además, lógicamente existe un periodo de espera previo a la intervención constructiva. Por lo anterior, se decidió definir el periodo de 2015 y 2017 como aquel que permite caracterizar de mejor forma la situación base y la situación posterior a la aplicación del tratamiento.

7.2 LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN FALTANTE NECESARIA PARA LA EVALUACIÓN EX - POST

En esta sección se describe la información que se requiere levantar para construir las variables de resultado, tratamiento y control en cada evaluación.

7.2.1 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PARA LA EVALUACIÓN EX – POST DEL PDA DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS COMO PROGRAMA CONSOLIDADO

Variable de resultado: En la evaluación ex – post del PDA de Temuco y Padre Las Casas como un programa consolidado la variable de resultado corresponde a las concentraciones de material particulado reportadas en las estaciones de monitoreo del SINCA. Al procesar todos los datos de concentraciones se determina que existen siete estaciones de monitoreo para MP_{10} que tienen datos completos desde el año 2009 y que cumplen con los requerimientos establecidos en el párrafo anterior (ubicadas en las zonas de Temuco, Osorno, Rancagua, San Fernando, Coyhaique, Valdivia y Rengo) y solo cuatro para el $MP_{2,5}$ (ubicadas en las zonas de Rancagua, Temuco, Osorno y Valdivia). En consecuencia, el estudio de la evaluación ex – post se enfocará en el MP_{10} ya que mientras más comunas se incluyan en el análisis es mejor para construir un escenario contrafactual creíble.

Variable de tratamiento: se define como variable de tratamiento a una variable dicotómica que adopta el valor uno si en ese mes ha estado en vigencia un PDA y cero en caso contrario. También, se incluye una variable de tratamiento adicional que distingue si se trata de los nuevos PDA que regulan el $MP_{2,5}$.

Variabes de control: Las variables meteorológicas permiten controlar factores que pueden influenciar los niveles de concentraciones de material particulado. En este sentido, las bajas temperaturas motivan el mayor uso de leña para calefacción en invierno, mientras que la lluvia y el incremento en la velocidad del viento ayudan a reducir las concentraciones de contaminantes.

Para realizar la evaluación ex – post del PDA como un programa consolidado se utilizarán como variables de control los datos meteorológicos mensuales obtenidos de los registros de las estaciones de monitoreo del SINCA, referentes a temperatura y velocidad del viento. Sin embargo, las precipitaciones solo están disponibles para dos de las siete comunas que fueron seleccionadas, así que no pueden ser incorporadas como variable de control en la evaluación ex - post del programa PDA como una política consolidada.

Resumen de información requerida: Todos los antecedentes relacionados con las variables de resultado, tratamiento y control, así como sus características se presentan en la Tabla 25.

Tabla 25. Información requerida para la evaluación ex – post del PDA como programa consolidado

Variable	Tipo de variable	Unidad	Periodicidad	Fuente
Concentración mensual de MP ₁₀	Resultado	µm/m ³	mensual	SINCA
Implementación de PDA para MP _{2,5} o MP ₁₀	Tratamiento	Dicotómica	mensual	Diario oficial
Implementación de PDA para MP _{2,5}	Tratamiento	Dicotómica	mensual	Diario oficial
Temperatura	Control	°C	mensual	SINCA
Velocidad del viento	Control	m/s	mensual	SINCA
Precipitaciones	Control	mm/hora	mensual	SINCA

Fuente: Elaboración propia

7.2.2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PARA LA EVALUACIÓN EX – POST DEL PROGRAMA DE GESTIÓN DE EPISODIOS CRÍTICOS EN TEMUCO Y PADRE LAS CASAS

Variable de resultado: En el caso de la evaluación ex – post del programa de gestión de episodios críticos la variable de resultado se define como el nivel de concentraciones con periodicidad horaria en las estaciones de monitoreo que se encuentran dentro y fuera del polígono donde se establece la restricción de uso de leña.

Para realizar la evaluación se requiere analizar el mismo periodo de tiempo en las diferentes estaciones de monitoreo. En este caso, la estación de monitoreo Museo Ferroviario tiene datos desde el año 2004 para MP₁₀ y la estación de monitoreo Las Encinas tiene datos disponibles desde el año 2009 para MP₁₀, a su vez ambas estaciones tienen datos desde el año 2009 para el MP_{2,5}, mientras que los datos de la estación de monitoreo Padre Las Casas II utilizados como grupo de control solo están disponibles desde marzo desde el año 2012, por lo cual el periodo de análisis será a partir de marzo del año 2012. Cabe señalar que solo se incluyen observaciones horarias en los periodos para los cuales hay disponibilidad de datos originales.

Variable de tratamiento: Para la evaluación ex – post del programa de gestión de episodios críticos la variable de tratamiento corresponde a los días y horas en los cuales se

han implementado prohibiciones de uso de leña por pronóstico de pre – emergencia o emergencia ambiental³¹. Estos datos fueron solicitados a través de la ley de Transparencia a la SEREMI de Salud de la Región de La Araucanía (ver Tabla 20).

Así, la variable de tratamiento corresponde a una variable dicotómica que adopta el valor uno si en un día y hora determinada se decretó un episodio crítico en una estación de monitoreo ubicada en una zona con restricción. La variable de tratamiento adopta el valor cero si en un día y hora determinada no se decretó episodio crítico en una zona incluida en la restricción, y además, la variable de tratamiento adopta un valor cero en cualquier día y hora si la estación de monitoreo está localizada en una zona sin restricción. También, se incluye una desagregación de la variable de tratamiento en dos nuevas variables, una para identificar los episodios de emergencia y otra para episodios de pre – emergencia.

Variables de control: Las variables meteorológicas dentro de una misma zona urbana deberían ser muy similares, pero pequeñas diferencias sistemáticas entre localizaciones específicas permitirían controlar factores que pueden influenciar los niveles de concentraciones de material particulado.

En el caso de la evaluación ex – post del programa de gestión de episodios críticos del PDA de Temuco y Padre Las Casas, la información meteorológica que se requiere es horaria debido a que las prohibiciones de utilización de calefactores a leña se realizan en ciertas horas del día en el cual se decreta un episodio crítico.

Resumen de información requerida: Todos los antecedentes relacionados con las variables de resultado, tratamiento y control, así como sus características se presentan en la Tabla 26.

Tabla 26. Información requerida para la evaluación ex – post del programa de gestión de episodios críticos

Variable	Tipo de variable	Unidad	Periodicidad	Fuente
Concentración mensual de MP ₁₀	Resultado	μm/m ³	horaria	SINCA
Concentración mensual de MP _{2,5}	Resultado	μm/m ³	horaria	SINCA
Implementación de episodio crítico	Tratamiento	Dicotómica	horaria	SEREMI MMA
Implementación de emergencia	Tratamiento	Dicotómica	horaria	SEREMI MMA
Implementación de pre-emergencia	Tratamiento	Dicotómica	horaria	SEREMI MMA
Temperatura	Control	°C	horaria	SINCA
Velocidad del viento	Control	m/s	horaria	SINCA
Precipitaciones	Control	mm/h	horaria	SINCA

Fuente: Elaboración propia

³¹ No hay medidas restrictivas en los episodios de alerta por lo cual no son incluidos. En las alertas la autoridad solo entrega recomendaciones para la protección de la salud y se hace un llamado al uso responsable y eficiente de la calefacción.

7.2.3 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PARA LA EVALUACIÓN EX – POST DEL PROGRAMA DE RECAMBIO DE CALEFACTORES EN TEMUCO Y PADRE LAS CASAS

VARIABLES DE RESULTADO: En el caso de la evaluación ex – post del programa de recambio de calefactores, la variable de resultado es definida como el nivel de emisiones de MP_{2,5} generado por el consumo de leña y otros energéticos para calefacción en cada vivienda, ya que se espera que la participación en este programa disminuya la utilización de leña y en consecuencia contribuya al objetivo de reducir las emisiones.

Para realizar la evaluación se requiere obtener información respecto al consumo de leña y otros energéticos antes y después del tratamiento a través de una encuesta realizada en esta consultoría a una muestra de los hogares postulantes.

VARIABLE DE TRATAMIENTO: Para la evaluación ex – post del programa de recambio de calefactores la variable de tratamiento se define como una variable dicotómica que adopta el valor uno si los hogares han sido beneficiados por este programa en Temuco y Padre Las Casas. Esta variable adopta el valor cero para hogares beneficiados en el periodo previo al recambio, y también, en los hogares que no fueron beneficiados en ambos periodos. Como existe un registro oficial de los hogares efectivamente beneficiados el cual puede diferir de lo declarado por los hogares por imprecisión o falta de conocimiento, se priorizará la información oficial cuando exista una diferencia entre ambas fuentes de información.

VARIABLES DE CONTROL: Se requieren incluir características relacionadas con la probabilidad de participación en el programa, ya que su omisión podría generar sesgos en la estimación del impacto. En el caso del programa de recambio de calefactores las características relacionadas con la probabilidad de obtener el beneficio fueron tamaño de grupo familiar, número de personas mayores de 60 años, tipo de calefactor escogido, consumo de leña en m³, estado del calefactor antiguo, tipo de calefactor antiguo, número de habitaciones, antigüedad y si la vivienda obtuvo un subsidio de aislación SERVIU entre los años 2008 y 2015. Además, se pueden incluir otras variables adicionales que permiten caracterizar a los hogares y las viviendas en la encuesta. En consecuencia, se proponen como variables de control el tipo de calefactor utilizado según energético, antigüedad del calefactor, el precio pagado por el energético (obtenido implícitamente a través de gasto y la cantidad consumida), el tipo de calefactor escogido en el programa de recambio, conocimiento del PDA, efectos negativos percibidos por la contaminación del aire, humedad de la leña utilizada, tiempo de secado de la leña antes de su consumo, tipo de comerciante de quien se adquiere la leña, estado del calefactor utilizado, número de habitaciones de la vivienda, material de construcción predominante en el piso de la vivienda, año de construcción de la vivienda, estándar de construcción de vivienda SERVIU, m² construidos, percepción de confort térmico, tipo de vivienda, número de personas que integran el hogar, número de personas mayores de 60 años, número de personas menores de 15 años, años de escolaridad del jefe de hogar y nivel de ingreso.

Resumen de información requerida: Todos los antecedentes relacionados con las variables de resultado, tratamiento y control, así como sus características se presentan en la Tabla 27.

Tabla 27. Información requerida para la evaluación ex – post del programa de recambio de calefactores

Variable	Tipo de variable	Unidad	Periodicidad	Fuente
Consumo de leña y otros energéticos	Resultado	Kg/año	Anual	Encuesta IIT
Emisiones de MP _{2,5}	Resultado	Kg/año	Anual	Encuesta IIT
Beneficiario de recambio de calefactores	Tratamiento	Dicotómica	Anual	SEREMI MMA
Tipo de calefactor escogido en el programa	Tratamiento	Categoría	Anual	SEREMI MMA
Tipo de calefactor antiguo	Control	Categoría	Anual	Encuesta IIT
Estado del calefactor antiguo	Control	Categoría	Anual	Encuesta IIT
Antigüedad del calefactor	Control	Número de años	Anual	Encuesta IIT
Tipo de vivienda	Control	Categoría	Anual	Encuesta IIT
Habitaciones de la vivienda	Control	Número	Anual	Encuesta IIT
Año de construcción de la vivienda	Control	Año	Anual	Encuesta IIT
Estándar de construcción SERVIU	Control	Dicotómica	Anual	Encuesta IIT
M ² construidos	Control	M ²	Anual	Encuesta IIT
Percepción de confort térmico	Control	Categoría	Anual	Encuesta IIT
Material de construcción del piso	Control	Categoría	Anual	Encuesta IIT
Precio pagado por el energético	Control	\$/unidad	Anual	Encuesta IIT
Conocimiento del PDA	Control	Dicotómica	Anual	Encuesta IIT
Efectos negativos percibidos en el aire	Control	Categoría	Anual	Encuesta IIT
Humedad de la leña utilizada	Control	Categoría	Anual	Encuesta IIT
Tiempo de secado de la leña	Control	Número de meses	Anual	Encuesta IIT
Tipo de comerciante que vende la leña	Control	Categoría	Anual	Encuesta IIT
Personas que integran el hogar	Control	Número de personas	Anual	Encuesta IIT
Personas mayores de 60 años	Control	Número de personas	Anual	Encuesta IIT
Personas menores de 15 años	Control	Número de personas	Anual	Encuesta IIT
Años de escolaridad del jefe de hogar	Control	Número de años	Anual	Encuesta IIT
Nivel de ingreso	Control	\$/mes	Anual	Encuesta IIT

Fuente: Elaboración propia

7.2.4 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PARA LA EVALUACIÓN EX – POST DEL PROGRAMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO EN TEMUCO Y PADRE LAS CASAS

Variable de resultado: En el caso de la evaluación ex – post del programa de aislamiento térmico, la variable de resultado también es definida como el nivel de emisiones de MP_{2,5} generado por el consumo de leña y otros energéticos para calefacción en cada vivienda, ya

que se espera que la participación en este programa reduzca los requerimientos energéticos para calefacción.

Debido a que la base de datos proporcionada por el MINVU con los postulantes del programa de aislamiento térmico no incluye datos para determinar el consumo de leña y otros energéticos para calefacción, se requiere conocer el consumo de cada hogar antes y después del tratamiento a través de la encuesta realizada en este estudio a una muestra de los postulantes beneficiados y hogares definidos como grupo de control.

Variable de tratamiento: Para la evaluación ex – post del programa de aislamiento térmico, la variable de tratamiento se define como una variable dicotómica que adopta el valor uno si los hogares han sido beneficiados por este programa en Temuco y Padre Las Casas. Esta variable adopta el valor cero para los hogares beneficiados en el periodo previo a la realización del mejoramiento térmico, y también, en los hogares que no fueron beneficiados en ambos periodos. Como existe un registro oficial de los postulantes efectivamente beneficiados, el cual puede diferir de lo declarado por los hogares por impresión o falta de conocimiento, se priorizará la información oficial cuando exista una diferencia entre ambas fuentes de información.

Variabes de control: Se incluye como variable de control un variable *dummy* que adopta el valor uno si la vivienda es del tipo SERVIU construida a partir del año 2008, ya que esto debería modificar sus requerimientos energéticos. Además, se pueden incluir otras variables adicionales que permiten caracterizar a los hogares y las viviendas en la encuesta. En consecuencia, se proponen como variables de control el tipo de calefactor utilizado según energético, antigüedad del calefactor, el precio pagado por el energético (obtenido implícitamente a través de gasto y la cantidad consumida), conocimiento del PDA, efectos negativos percibidos por la contaminación del aire, humedad de la leña utilizada, tiempo de secado de la leña antes de su consumo, tipo de comerciante de quien se adquiere la leña, estado del calefactor utilizado, número de habitaciones de la vivienda, material de construcción predominante en el piso de la vivienda, año de construcción de vivienda, estándar de construcción de vivienda SERVIU, m² construidos, percepción de confort térmico, tipo de vivienda, número de personas que integran el hogar, número de personas mayores de 60 años, número de personas menores de 15 años, años de escolaridad del jefe de hogar y nivel de ingreso.

Resumen de información requerida: Todos los antecedentes relacionados con las variables de resultado, tratamiento y control, así como sus características se presentan en la Tabla 28.

Tabla 28. Información requerida para la evaluación ex – post del programa de aislamiento térmico

Variable	Tipo de variable	Unidad	Periodicidad	Fuente
Consumo de leña y otros energéticos	Resultado	Kg/año	Anual	Encuesta IIT
Emisiones de MP _{2,5}	Resultado	Kg/año	Anual	Encuesta IIT
Beneficiario de aislamiento térmico	Tratamiento	Dicotómica	Anual	SEREMI MMA
Tipo de calefactor	Control	Categórica	Anual	Encuesta IIT
Estado del calefactor	Control	Categórica	Anual	Encuesta IIT
Antigüedad del calefactor	Control	Número de años	Anual	Encuesta IIT
Tipo de vivienda	Control	Categórica	Anual	Encuesta IIT
Habitaciones de la vivienda	Control	Número	Anual	Encuesta IIT
Año de construcción de la vivienda	Control	Año	Anual	Encuesta IIT
Estándar de construcción SERVIU	Control	Dicotómica	Anual	Encuesta IIT
M ² construidos	Control	M ²	Anual	Encuesta IIT
Percepción de confort térmico	Control	Categórica	Anual	Encuesta IIT
Material de construcción del piso	Control	Categórica	Anual	Encuesta IIT
Precio pagado por el energético	Control	\$/unidad	Anual	Encuesta IIT
Conocimiento del PDA	Control	Dicotómica	Anual	Encuesta IIT
Efectos negativos percibidos en el aire	Control	Categórica	Anual	Encuesta IIT
Humedad de la leña utilizada	Control	Categórica	Anual	Encuesta IIT
Tiempo de secado de la leña	Control	Número de meses	Anual	Encuesta IIT
Personas que integran el hogar	Control	Número de personas	Anual	Encuesta IIT
Personas mayores de 60 años	Control	Número de personas	Anual	Encuesta IIT
Personas menores de 15 años	Control	Número de personas	Anual	Encuesta IIT
Años de escolaridad del jefe de hogar	Control	Número de años	Anual	Encuesta IIT
Nivel de ingreso	Control	\$/mes	Anual	Encuesta IIT

Fuente: Elaboración propia

7.3 POBLACIÓN OBJETIVO Y TAMAÑO MUESTRAL

La población objetivo en el caso de la evaluación ex - post del PDA como un programa consolidado se ha definido como todas las comunas de la zona centro - sur del país con mediciones de concentraciones de MP₁₀. Actualmente, existen 64 estaciones de monitoreo que miden este contaminante entre las regiones de O'Higgins y Aysén, las cuales están principalmente localizadas en zonas urbanas con problemas de contaminación por combustión de leña residencial. Luego de procesar los datos de concentraciones se llegó a la conclusión que solo siete estaciones de monitoreo cumplían con los requerimientos de continuidad y disponibilidad de variables meteorológicas para ser incluidas como variables de control. Estas siete estaciones de monitoreo están localizadas en las comunas de Coyhaique, Temuco, Osorno, Rancagua, Rengo, San Fernando y Valdivia. En consecuencia, la muestra a utilizar no fue determinada a partir de criterios estadísticos, sino

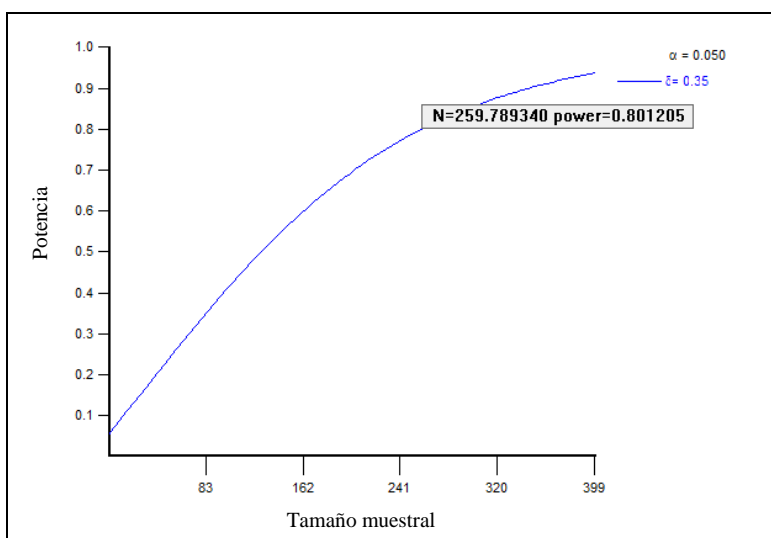
que se utilizan todos los datos mensuales disponibles de estas siete zonas desde febrero de 2009 hasta marzo de 2017 constituyendo un total de 686 observaciones válidas que se distribuyen en una extensión temporal de 98 meses.

La población objetivo en el caso de la evaluación ex - post del programa de gestión de episodios críticos se ha definido como las estaciones de monitoreo que cuentan con mediciones de concentraciones de MP_{10} y $MP_{2,5}$ que están ubicadas en las áreas con y sin prohibiciones por episodios críticos en las comunas de Temuco y Padre Las Casas. Actualmente, existen dos estaciones de monitoreo en el área con prohibición en la comuna de Temuco y una estación de monitoreo fuera del área de prohibición en la comuna de Padre Las Casas. Al procesar los datos de concentraciones se llegó a la conclusión que estas tres estaciones de monitoreo cumplen con los requerimientos de continuidad temporal a partir del año 2012. En consecuencia, la muestra a utilizar no fue determinada a partir de criterios estadísticos, sino que solo se utilizan todos los datos disponibles de estas tres estaciones de monitoreo que incluyen registros horarios desde el 22 de marzo de 2012 hasta el 21 de marzo de 2017 constituyendo un total de 116.011 observaciones válidas para MP_{10} y 118.843 observaciones válidas para $MP_{2,5}$ que se distribuyen en una extensión temporal de 131.469 horas.

La población objetivo de los programas de recambio de calefactores y aislamiento térmico corresponde a todos los postulantes a estos programas en las comunas de Temuco y Padre Las Casas que de acuerdo a los registros oficiales son 8.402 y 3.886 hogares, respectivamente. También, se podría definir de forma más amplia la población objetivo, como todos los postulantes de cada programa a nivel país, pero en este caso la muestra utilizada no sería representativa de esta población. En la propuesta técnica se propuso utilizar los mismos criterios que en un diseño experimental para calcular los tamaños de muestra de ambos programas. Específicamente, si se asume un nivel de confianza del 95%, una potencia de 80% y un impacto estimado de 35% en la variable de resultado se requiere un tamaño muestral de 260 hogares para evaluar cada programa, es decir, 130 hogares tratados y 130 que deberían actuar como control. En consecuencia, se propuso levantar en total 130 hogares tratados por recambio de calefactores, 130 hogares tratados con subsidio de aislación térmica y 130 hogares que servirían como grupo de control para ambos programas. Así, se estableció un total de 390 encuestas a realizar en Temuco y Padre Las Casas.

Tal como se muestra en la Figura 47 existe una relación directa entre el tamaño muestral y potencia para detectar un impacto estimado de 35% en la variable de resultado considerando un nivel de confianza del 95%. Es necesario aclarar en términos estadísticos que el nivel de confianza definido permite no rechazar la hipótesis nula con un 95% cuando la hipótesis nula es cierta (que afirma que el grupo de tratamiento y control comparten la misma media poblacional). Mientras que la potencia definida es normalmente utilizada en estudios empíricos e implica que existe un 80% de probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es cierta la hipótesis alternativa, así la potencia se puede interpretar como la probabilidad de descubrir un efecto causal del tratamiento cuando tal efecto verdaderamente existe.

Figura 47. Determinación de tamaño muestral



Fuente: Elaboración propia

7.4 VALIDEZ INTERNA Y EXTERNA

A continuación se discuten aspectos sobre la validez interna y externa de cada una de las evaluaciones ex - post propuestas.

7.4.1 VALIDEZ INTERNA

La validez interna se refiere a que se ha podido condicionar por todos los factores exógenos que pueden afectar la estimación del verdadero impacto del programa. La validez interna se puede alcanzar cuando el grupo de control utilizado en la evaluación representa adecuadamente lo que hubiera ocurrido en ausencia del programa. Si el grupo de control no representa verdaderamente la situación contrafactual, se estaría asignando parte del efecto estimado al programa cuando en realidad es atribuible a otros factores exógenos. Además, la validez interna es afectada cuando existe sesgo de selección en las unidades bajo análisis, ya que los participantes se autoseleccionan para participar en el programa debido a características particulares que no son observables para el investigador y que invalidan realizar una comparación con el grupo de control.

En la evaluación ex - post del PDA como programa consolidado es posible que algunas condiciones climáticas, cambios en la población, precios relativos o ingreso podrían estar alterando la demanda por calefacción residencial en las zonas bajo estudio, lo cual afectaría los niveles de concentraciones mensuales de material particulado. En consecuencia, tal como se señaló previamente se incluyen variables de control para las condiciones climáticas como temperaturas, viento y precipitaciones. Sin embargo, no hay disponibilidad de datos históricos con periodicidad mensual en cada zona para los precios de los diferentes energéticos, ingresos o cambios en la población. No obstante, es bastante razonable que los datos de concentraciones mensuales de la zona de Valdivia y las mismas zonas con PDA

antes de su implementación, permitan caracterizar adecuadamente la situación contrafactual. En consecuencia, aun cuando existen limitaciones asociadas a los datos disponibles para alcanzar una completa validez interna, con las variables de control incluidas sí es posible aproximarse de buena manera a ella.

Al igual que en el caso anterior, en la evaluación ex - post del programa de gestión de episodios críticos es posible que algunas condiciones climáticas, heterogeneidad en la fiscalización, precios relativos o ingreso podrían estar alterando el resultado de la prohibición en las zonas bajo estudio, es decir, los niveles de concentraciones horarios de material particulado. Por ello, se trató de incluir información meteorológica de tres variables (temperatura, viento y precipitaciones), pero la falta de datos completos para estas series de datos limitó su incorporación total. Aunque no existen datos, el supuesto de tendencia común en los precios relativos o ingreso entre zonas con y sin prohibición parece muy razonable por la cercanía geográfica de ambas zonas. Pero efectivamente la heterogeneidad en la fiscalización o el aprendizaje de los hogares sobre la probabilidad de ser fiscalizado podrían estar afectando el impacto estimado del programa. Sin embargo, ante la incapacidad de disponer de información horaria sobre estos y otros factores, solo queda asumir que su impacto es bajo relativo al efecto del programa.

En la evaluación ex - post del programa de recambio de calefactores y programa de aislamiento térmico las características socioeconómicas de los hogares, composición del grupo familiar, antigüedad de artefacto de calefacción, características de las viviendas, conciencia ambiental, entre otros factores, podrían influir en el impacto del consumo de energéticos para calefacción. En consecuencia, para aumentar la validez interna se hizo un análisis estadístico con bases de datos de estudios previos para determinar las variables que afectaban significativamente en el consumo de leña para calefacción, las cuales fueron incluidas como variables de control en la encuesta levantada en el presente estudio³². Finalmente, otra situación que podría alterar la validez interna cuando se utilizan encuestas es el cambio en el instrumento de medición entre el periodo previo y posterior a la implementación del programa, esta situación no ocurre en este estudio ya que el instrumento fue aplicado solo una vez recolectando información actual y retrospectiva.

A modo de conclusión se puede señalar que se utilizó toda la información disponible que permitiera contribuir a asegurar la validez interna de cada programa. Especialmente, para la evaluación del programa de recambio de calefactores y aislamiento térmico de viviendas esta validez está más asegurada ya que se levantaron datos primarios para controlar por todos los factores exógenos relevantes. En el caso de las evaluaciones ex - post que utilizaron información secundaria, la validez interna es más razonable para el programa de gestión de episodios críticos que para la evaluación del PDA como programa consolidado. Sin embargo, es bastante probable que los factores exógenos no incluidos para la evaluación del PDA como programa consolidado, tales como precios de energéticos o ingresos tengan una preponderancia mucho menor que los factores exógenos meteorológicos que si están incluidos en el análisis.

³² Ver Tabla 21

7.4.2 VALIDEZ EXTERNA

Se dice que una evaluación ex - post tiene validez externa cuando el impacto estimado puede generalizarse a toda la población elegible del programa. Lo anterior, requiere que la muestra sea representativa de la población. Sin embargo, una evaluación ex – post a nivel local si podría tener validez externa de la población elegible en esa localidad, aun cuando no tenga validez externa a nivel nacional.

La evaluación ex - post del PDA como programa consolidado no posee validez externa, ya que existen datos disponibles solo de algunas zonas del país y la metodología de diferencias en diferencias propuesta para identificar el impacto no permite extrapolar los resultados de aplicar un PDA en una zona diferente a las incluidas en el análisis. Sin embargo, los resultados permitirán obtener conclusiones del impacto para la zona de Temuco y Padre Las Casas, así como también, para otras comunas incluidas en la bases de datos que están implementando PDA para reducir la contaminación por calefacción residencial. Lo anterior, implica que la evaluación ex – post realizada permite identificar el impacto general de cualquier PDA aplicado en una de las comunas incluidas en la muestra, sin diferenciar el impacto particular en cada comuna.

La evaluación ex - post del programa de gestión de episodios críticos no posee validez externa, ya que los datos disponibles de las estaciones de monitoreo localizadas en las comunas de Temuco y Padre Las Casas y la metodología de diferencias en diferencias propuesta para identificar el impacto no permiten extrapolar los resultados de aplicar prohibiciones por episodios críticos en una zona geográfica diferente a la incluida en el análisis. Sin embargo, los resultados sí serán válidos para las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

La evaluación ex - post del programa de recambio de calefactores y de aislamiento térmico poseen validez externa a nivel local para el total de hogares beneficiados en Temuco y Padre Las Casas, ya que la muestra de hogares encuestados para estimar el impacto fue seleccionado de forma aleatoria a partir del registro oficial de beneficiados. Sin embargo, no posee validez externa si se considera el total de hogares beneficiados o postulantes a estos programas a nivel nacional.

A continuación en la Tabla 29 se presenta un resumen de la validez interna y externa de cada evaluación ex - post.

Tabla 29. Resumen de validez interna y externa para cada evaluación ex – post

Evaluación ex - post	Validez interna	Validez externa	Implicancias
PDA como programa consolidado	Razonable, si factores exógenos no observables tienen efecto acotado	No	Posibilidad de sesgo en impacto estimado. No se pueden extrapolar los resultados a ciudades no incluidas en la muestra
Programa de gestión de episodios críticos	Bastante razonable, por los datos disponibles y metodología aplicada	No	Escasa posibilidad de sesgo en impacto estimado. No se pueden extrapolar los resultados a otras ciudades
Programa de recambio de calefactores	Sí, por los datos disponibles y metodología aplicada	Sí, para los hogares beneficiados en Temuco y Padre Las Casas	Inseguridad de impacto estimado. No se pueden extrapolar los resultados a nivel nacional
Programa de aislamiento térmico	Sí, por los datos disponibles y metodología aplicada	Sí, para los hogares beneficiados en Temuco y Padre Las Casas	Inseguridad de impacto estimado. No se pueden extrapolar los resultados a nivel nacional

Fuente: Elaboración propia

7.5 DESARROLLO DE CUESTIONARIOS Y PROTOCOLOS ASOCIADOS A LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

7.5.1 DESARROLLO DE CUESTIONARIO

Para la evaluación ex – post de los programas de recambio de calefactores y aislamiento térmico de viviendas se necesita levantar datos primarios de los niveles de consumo de leña y otros energéticos para calefacción, así como también, las características de los hogares que han sido beneficiados por alguno de estos programas en Temuco y Padre Las Casas, tanto para el periodo anterior como posterior al que se asignó el beneficio. Además, se necesitan estos mismos datos en hogares que no fueron beneficiados por estos programas y que serán utilizados como grupo de control.

Cabe destacar que el levantamiento de algunos datos que ocurrieron previo al tratamiento (de forma retrospectiva) requiere confiar en la memoria de los encuestados para conseguir la información y asumir que será de igual calidad que aquella información obtenida sobre la situación actual. Aun cuando este supuesto puede ser discutible, no hay otra alternativa, considerando que se ha decidido evaluar el impacto de estos programas después de la

asignación de beneficios y sin contar con una línea base que incluyera todas las variables relevantes.

Aun cuando solo se requiere el consumo de leña y otros energéticos antes y después de participar en el programa de recambio de calefactores o aislamiento térmico para estimar el impacto de cualquiera de estos programas con una metodología de diferencias en diferencias, si se dispone de más características relevantes que expliquen el consumo de leña y otros energéticos es posible reducir los errores estándares y precisar los *tests* de hipótesis asociados al impacto del programa. Además, disponer de este tipo de características también permiten utilizar una metodología no experimental de *matching* con diferencias en diferencias para contrastar los resultados.

En consecuencia, se generó una propuesta de cuestionario inicial la cual fue mejorada a través de un proceso iterativo con la contraparte técnica para incorporar algunos aspectos adicionales que se consideraron relevantes. Así, el cuestionario definitivo incluye información de línea base (definida para el año 2015) y la ronda de seguimiento (año 2017), conteniendo módulos referentes a: 1) Dirección; 2) Identificación de encuestado; 3) Identificación del encuestador; 4) Datos de calefacción del año 2017; 5) Datos de calefacción del año 2015; 6) Beneficios de programas gubernamentales; 7) Nivel de conocimiento de la problemática ambiental en la zona; 8) Características del uso de leña para calefacción; 9) Características de la vivienda; y 10) Características socioeconómicas.

Figura 48. Cuestionario para levantamiento de información (página 1 de 2)



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

ENCUESTA CONSUMO DE COMBUSTIBLES PARA
CALEFACCIÓN EN EL SECTOR RESIDENCIAL

Folio N°: _____

CALLE _____ N° _____ COMUNA _____																																																	
POBLACIÓN O VILLA _____ TELÉFONO _____																																																	
<p>IDENTIFICACIÓN DEL ENCUESTADO</p> <p>ROL QUE CUMPLE EN LA FAMILIA</p> <p><input type="checkbox"/> 1. Jefe de hogar <input type="checkbox"/> 3. Hijo (a) <input type="checkbox"/> 5. Abuelo (a)</p> <p><input type="checkbox"/> 2. Dueña de casa <input type="checkbox"/> 4. Empleada (o) <input type="checkbox"/> 6. Otro _____</p>	<p>IDENTIFICACIÓN DEL ENCUESTADOR</p> <p>NOMBRE _____</p> <p>FECHA <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> 2017</p> <p style="text-align: center;">DIA MES</p>																																																
<p>1.1 CALEFACCIÓN EN EL AÑO 2017 (Si posee más de un equipo marque más de una alternativa)</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>TIPO DE EQUIPO</th> <th>ANTIGÜEDAD</th> <th>CONSUMO ANUAL</th> <th>GASTO ANUAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/> 1. Cocina de fierro</td> <td>_____ años</td> <td>_____ / (m³ / otra unidad: _____)</td> <td>\$ _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 2. Chimenea</td> <td>_____ años</td> <td>_____ / (m³ / otra unidad: _____)</td> <td>\$ _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 3. Comb. lenta doble cámara</td> <td>_____ años</td> <td>_____ / (m³ / otra unidad: _____)</td> <td>\$ _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 4. Comb. lenta cámara simple</td> <td>_____ años</td> <td>_____ / (m³ / otra unidad: _____)</td> <td>\$ _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 5. Salamandra</td> <td>_____ años</td> <td>_____ / (m³ / otra unidad: _____)</td> <td>\$ _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 6. Estufa de lata</td> <td>_____ años</td> <td>_____ / (m³ / otra unidad: _____)</td> <td>\$ _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 7. Pellet</td> <td>_____ años</td> <td>_____ / (kg / otra unidad: _____)</td> <td>\$ _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 8. Gas</td> <td>_____ años</td> <td>_____ / (kg / otra unidad: _____)</td> <td>\$ _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 9. Parafina</td> <td>_____ años</td> <td>_____ / (litro / otra unidad: _____)</td> <td>\$ _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 10. Otro 1: _____</td> <td>_____ años</td> <td>_____ / unidad: _____</td> <td>\$ _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 11. Otro 2: _____</td> <td>_____ años</td> <td>_____ / unidad: _____</td> <td>\$ _____</td> </tr> </tbody> </table>		TIPO DE EQUIPO	ANTIGÜEDAD	CONSUMO ANUAL	GASTO ANUAL	<input type="checkbox"/> 1. Cocina de fierro	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____	<input type="checkbox"/> 2. Chimenea	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____	<input type="checkbox"/> 3. Comb. lenta doble cámara	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____	<input type="checkbox"/> 4. Comb. lenta cámara simple	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____	<input type="checkbox"/> 5. Salamandra	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____	<input type="checkbox"/> 6. Estufa de lata	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____	<input type="checkbox"/> 7. Pellet	_____ años	_____ / (kg / otra unidad: _____)	\$ _____	<input type="checkbox"/> 8. Gas	_____ años	_____ / (kg / otra unidad: _____)	\$ _____	<input type="checkbox"/> 9. Parafina	_____ años	_____ / (litro / otra unidad: _____)	\$ _____	<input type="checkbox"/> 10. Otro 1: _____	_____ años	_____ / unidad: _____	\$ _____	<input type="checkbox"/> 11. Otro 2: _____	_____ años	_____ / unidad: _____	\$ _____
TIPO DE EQUIPO	ANTIGÜEDAD	CONSUMO ANUAL	GASTO ANUAL																																														
<input type="checkbox"/> 1. Cocina de fierro	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____																																														
<input type="checkbox"/> 2. Chimenea	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____																																														
<input type="checkbox"/> 3. Comb. lenta doble cámara	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____																																														
<input type="checkbox"/> 4. Comb. lenta cámara simple	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____																																														
<input type="checkbox"/> 5. Salamandra	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____																																														
<input type="checkbox"/> 6. Estufa de lata	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____																																														
<input type="checkbox"/> 7. Pellet	_____ años	_____ / (kg / otra unidad: _____)	\$ _____																																														
<input type="checkbox"/> 8. Gas	_____ años	_____ / (kg / otra unidad: _____)	\$ _____																																														
<input type="checkbox"/> 9. Parafina	_____ años	_____ / (litro / otra unidad: _____)	\$ _____																																														
<input type="checkbox"/> 10. Otro 1: _____	_____ años	_____ / unidad: _____	\$ _____																																														
<input type="checkbox"/> 11. Otro 2: _____	_____ años	_____ / unidad: _____	\$ _____																																														
<p>1.2 CALEFACCIÓN EN EL AÑO 2015 (Si poseía más de un equipo marque más de una alternativa)</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>TIPO DE EQUIPO</th> <th>ANTIGÜEDAD</th> <th>CONSUMO ANUAL</th> <th>GASTO ANUAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/> 1. Cocina de fierro</td> <td>_____ años</td> <td>_____ / (m³ / otra unidad: _____)</td> <td>\$ _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 2. Chimenea</td> <td>_____ años</td> <td>_____ / (m³ / otra unidad: _____)</td> <td>\$ _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 3. Comb. lenta doble cámara</td> <td>_____ años</td> <td>_____ / (m³ / otra unidad: _____)</td> <td>\$ _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 4. Comb. lenta cámara simple</td> <td>_____ años</td> <td>_____ / (m³ / otra unidad: _____)</td> <td>\$ _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 5. Salamandra</td> <td>_____ años</td> <td>_____ / (m³ / otra unidad: _____)</td> <td>\$ _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 6. Estufa de lata</td> <td>_____ años</td> <td>_____ / (m³ / otra unidad: _____)</td> <td>\$ _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 7. Pellet</td> <td>_____ años</td> <td>_____ / (kg / otra unidad: _____)</td> <td>\$ _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 8. Gas</td> <td>_____ años</td> <td>_____ / (kg / otra unidad: _____)</td> <td>\$ _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 9. Parafina</td> <td>_____ años</td> <td>_____ / (litro / otra unidad: _____)</td> <td>\$ _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 10. Otro 1: _____</td> <td>_____ años</td> <td>_____ / unidad: _____</td> <td>\$ _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> 11. Otro 2: _____</td> <td>_____ años</td> <td>_____ / unidad: _____</td> <td>\$ _____</td> </tr> </tbody> </table>		TIPO DE EQUIPO	ANTIGÜEDAD	CONSUMO ANUAL	GASTO ANUAL	<input type="checkbox"/> 1. Cocina de fierro	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____	<input type="checkbox"/> 2. Chimenea	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____	<input type="checkbox"/> 3. Comb. lenta doble cámara	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____	<input type="checkbox"/> 4. Comb. lenta cámara simple	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____	<input type="checkbox"/> 5. Salamandra	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____	<input type="checkbox"/> 6. Estufa de lata	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____	<input type="checkbox"/> 7. Pellet	_____ años	_____ / (kg / otra unidad: _____)	\$ _____	<input type="checkbox"/> 8. Gas	_____ años	_____ / (kg / otra unidad: _____)	\$ _____	<input type="checkbox"/> 9. Parafina	_____ años	_____ / (litro / otra unidad: _____)	\$ _____	<input type="checkbox"/> 10. Otro 1: _____	_____ años	_____ / unidad: _____	\$ _____	<input type="checkbox"/> 11. Otro 2: _____	_____ años	_____ / unidad: _____	\$ _____
TIPO DE EQUIPO	ANTIGÜEDAD	CONSUMO ANUAL	GASTO ANUAL																																														
<input type="checkbox"/> 1. Cocina de fierro	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____																																														
<input type="checkbox"/> 2. Chimenea	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____																																														
<input type="checkbox"/> 3. Comb. lenta doble cámara	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____																																														
<input type="checkbox"/> 4. Comb. lenta cámara simple	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____																																														
<input type="checkbox"/> 5. Salamandra	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____																																														
<input type="checkbox"/> 6. Estufa de lata	_____ años	_____ / (m ³ / otra unidad: _____)	\$ _____																																														
<input type="checkbox"/> 7. Pellet	_____ años	_____ / (kg / otra unidad: _____)	\$ _____																																														
<input type="checkbox"/> 8. Gas	_____ años	_____ / (kg / otra unidad: _____)	\$ _____																																														
<input type="checkbox"/> 9. Parafina	_____ años	_____ / (litro / otra unidad: _____)	\$ _____																																														
<input type="checkbox"/> 10. Otro 1: _____	_____ años	_____ / unidad: _____	\$ _____																																														
<input type="checkbox"/> 11. Otro 2: _____	_____ años	_____ / unidad: _____	\$ _____																																														
<p>1.3 BENEFICIOS RECIBIDOS DEL GOBIERNO</p> <p>1.3.1.a) ¿Ha recibido un subsidio de reacondicionamiento térmico? <input type="checkbox"/> 1.Si <input type="checkbox"/> 2.No 1.3.1.b) Año _____</p> <p>1.3.2.a) ¿Ha recibido un subsidio de recambio de calefactores? <input type="checkbox"/> 1.Si <input type="checkbox"/> 2.No 1.3.2.b) Año _____</p> <p>1.3.3) ¿Qué tipo de calefactor nuevo escogió ? (solo si recibió el subsidio de recambio de calefactor)</p> <p><input type="checkbox"/> 1. Estufa a pellet <input type="checkbox"/> 2. Estufa a parafina <input type="checkbox"/> 3. Estufa a gas <input type="checkbox"/> 4. Estufa a leña certificada</p>																																																	
<p>1.4 CONOCIMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL EN TEMUCO Y PADRE LAS CASAS</p> <p>1.4.1) ¿Conoce el Plan de Descontaminación Ambiental? <input type="checkbox"/> 1.Si <input type="checkbox"/> 2.No</p> <p>1.4.2) ¿Conocía el año 2015 este Plan ? <input type="checkbox"/> 1.Si <input type="checkbox"/> 2.No</p> <p>1.4.3) ¿Percibe usted algún efecto negativo asociado al uso de leña? (puede marcar más de una opción)</p> <table style="width:100%;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">2017</td> <td style="text-align: center;">2015</td> <td></td> <td style="text-align: center;">2017</td> <td style="text-align: center;">2015</td> </tr> <tr> <td>1. Contaminación dentro del hogar</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>4. Enfermedades respiratorias</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>2. Contaminación en la comuna</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>5. Ninguno</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>3. Problemas con el almacenamiento</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>6. Otro: _____</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>			2017	2015		2017	2015	1. Contaminación dentro del hogar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4. Enfermedades respiratorias	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2. Contaminación en la comuna	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5. Ninguno	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3. Problemas con el almacenamiento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6. Otro: _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
	2017	2015		2017	2015																																												
1. Contaminación dentro del hogar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4. Enfermedades respiratorias	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																												
2. Contaminación en la comuna	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5. Ninguno	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																												
3. Problemas con el almacenamiento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6. Otro: _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																												

Figura 49. Cuestionario para levantamiento de información (página 2 de 2)

2. CARACTERÍSTICAS DEL USO DE LEÑA PARA CALEFACCIÓN			
2.1) La leña que usted regularmente utiliza está		2.2) ¿Cuánto tiempo seca la leña después de comprarla ?	
Año 2017	Año 2015	Año 2017 _____ /año _____ /mes _____ /día _____	Año 2015 _____ /año _____ /mes _____ /día _____
<input type="checkbox"/> 1. Seca	<input type="checkbox"/> 1. Seca		
<input type="checkbox"/> 2. Semi -húmeda	<input type="checkbox"/> 2. Semi -húmeda		
<input type="checkbox"/> 3. Húmeda	<input type="checkbox"/> 3. Húmeda		
<input type="checkbox"/> 4. No sabe	<input type="checkbox"/> 4. No sabe		
2.3) La leña que usted regularmente adquiere de dónde proviene (porcentaje)			
1. Vendedor ambulante (camión o camioneta)	Año 2017 _____ %	Año 2015 _____ %	
2. Vendedor de leña certificada	Año 2017 _____ %	Año 2015 _____ %	
3. Productor del bosque o campo	Año 2017 _____ %	Año 2015 _____ %	
4. Negocio o almacén establecido	Año 2017 _____ %	Año 2015 _____ %	
5. Otra forma: _____	Año 2017 _____ %	Año 2015 _____ %	
3. CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA			
3.1) Estado del calefactor más utilizado en su hogar		3.2) N° de habitaciones año 2017 _____	
Año 2017	Año 2015	3.3) N° de habitaciones año 2015 _____	
<input type="checkbox"/> 1. Bueno	<input type="checkbox"/> 1. Bueno	3.4) Material predominante en el piso de la vivienda:	
<input type="checkbox"/> 2. Regular	<input type="checkbox"/> 2. Regular	<input type="checkbox"/> 1. Radier revestido (parquet, cerámica, tabla)	
<input type="checkbox"/> 3. Malo	<input type="checkbox"/> 3. Malo	<input type="checkbox"/> 2. Radier no revestido (cemento)	
3.5) ¿Año en que fue construida la vivienda? _____		<input type="checkbox"/> 3. Tabla o parquet sobre vigas	
3.6) Si no sabe año ¿fue después del 2007? <input type="checkbox"/> 1. Sí <input type="checkbox"/> 2. No		<input type="checkbox"/> 4. Madera o pastelones sobre la tierra	
3.7) ¿Fue construida a través del SERVIU? <input type="checkbox"/> 1. Sí <input type="checkbox"/> 2. No		<input type="checkbox"/> 5. Piso de tierra	
3.8) ¿Cuántos metros cuadrados construidos tiene su vivienda? Año 2017 _____ m ² Año 2015 _____ m ²		3.10) Tipo de vivienda que posee	
3.9) Percepción del confort térmico en la vivienda:		<input type="checkbox"/> 1. Casa aislada	
Año 2017	Año 2015	<input type="checkbox"/> 2. Casa pareada	
<input type="checkbox"/> 1. Bueno	<input type="checkbox"/> 1. Bueno	<input type="checkbox"/> 3. Casa en fila	
<input type="checkbox"/> 2. Regular	<input type="checkbox"/> 2. Regular	<input type="checkbox"/> 4. Departamento	
<input type="checkbox"/> 3. Malo	<input type="checkbox"/> 3. Malo	<input type="checkbox"/> 5. Mediagua	
4. CARACTERÍSTICAS SOCIECONÓMICAS			
4.1) ¿Cuántas personas viven en su hogar?		Año 2017 _____	Año 2015 _____
4.2) ¿Cuántas personas mayores de 60 años viven en su hogar?		Año 2017 _____	Año 2015 _____
4.3) ¿Cuántas personas menores de 15 años viven en su hogar?		Año 2017 _____	Año 2015 _____
4.4) Años de escolaridad de jefe de hogar		Año 2017 _____	Año 2015 _____
4.5) Sumando el ingreso que perciben todas las personas en el hogar, ¿Cuál el ingreso promedio líquido mensual, incluyendo pensiones, subsidios monetarios, montepío, otros? (mostrar tarjeta)			
Año 2017: A _ B _ C _ D _ E _ F _ G _ H _ I _ J _ K _ L _ M _ N _ Ñ _ O _ P _ Q _ R _ S _ T _ U _			
V _ W _ X _ Y _ Z _ A1 _ A2 _ A3 _ A4 _ A5 _ A6 _ A7 _ A8 _ A9 _ A10 _ A11 _ A12 _ Sin respuesta _			
Año 2015: A _ B _ C _ D _ E _ F _ G _ H _ I _ J _ K _ L _ M _ N _ Ñ _ O _ P _ Q _ R _ S _ T _ U _			
V _ W _ X _ Y _ Z _ A1 _ A2 _ A3 _ A4 _ A5 _ A6 _ A7 _ A8 _ A9 _ A10 _ A11 _ A12 _ Sin respuesta _			
4.6) Si no sabe o no responde 4.5) por favor clasifique el nivel socioeconómico de su hogar (marcar el nivel que se aproxime más a su ingreso total familiar en millones de pesos)			
Año 2017: AB _ (\$4.3) C1a _ (\$2.1) C1b _ (\$1.3) C2 _ (\$0.8) C3 _ (\$0.5) D _ (\$0.3) E _ (\$0.2) Sin respuesta _		Año 2015: AB _ (\$4.3) C1a _ (\$2.1) C1b _ (\$1.3) C2 _ (\$0.8) C3 _ (\$0.5) D _ (\$0.3) E _ (\$0.2) Sin respuesta _	
4.7) Si no sabe o no responde a 4.6) el encuestador debe definir el nivel socioeconómico de l hogar de acuerdo a su percepción: Alto _ Medio alto _ Medio _ Medio bajo _ Bajo _ Muy bajo _			

¡Muchas gracias por su colaboración!

Fuente: Elaboración propia

7.5.2 PROTOCOLO DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Los beneficiarios a encuestar de cada programa fueron seleccionados de forma aleatoria a partir de los listados oficiales (utilizando reemplazo si los hogares no querían acceder a contestar la encuesta). Las encuestas para los hogares utilizados como controles fueron escogidos con un algoritmo aleatorio sistemático (se encuestó a un hogar vecino que estuviera a 1, 3, 5, ó más casas adyacentes a un hogar beneficiado que contestó la encuesta), esto con el fin de asegurar que los hogares y materialidad de las viviendas tuviesen características similares al hogar beneficiado.

El cuestionario fue aplicado de forma presencial en terreno en la respectiva dirección reportada en los registros oficiales de los postulantes beneficiados, y en los hogares vecinos seleccionados como grupo de control que tuvieron disponibilidad para contestar la encuesta el mismo día en el cual se levantó la información para el hogar beneficiario. La aplicación de la encuesta en terreno fue realizada mediante cuestionarios impresos en papel, cuyas respuestas fueron posteriormente digitadas de forma electrónica.

Respecto al trabajo de campo se realizó una planificación inicial para levantar la información los fines de semana durante un periodo aproximado de dos a tres meses, para lo cual la jefa de terreno desarrolló estrategias para contratar y capacitar a los encuestadores, planificación del trabajo en terreno, y una propuesta para implementar mecanismos de supervisión para asegurar la veracidad de la información levantada durante el proceso. Además, para asegurar y estandarizar la calidad de la información levantada se generó un manual del encuestador que detalla y explica cada una de las secciones de la encuesta, este manual fue entregado a cada encuestador para que lo estudiaran de forma previa a la capacitación.

7.6 APLICACIÓN DEL CUESTIONARIO DE ACUERDO A LOS PROCEDIMIENTOS Y REQUERIMIENTOS PREVIAMENTE DEFINIDOS

7.6.1 RECLUTAMIENTO Y SELECCIÓN DE ENCUESTADORES

Considerando las condiciones climáticas y estacionalidad del proceso de levantamiento de información del presente estudio, el reclutamiento de encuestadores para la realización de las encuestas a nivel residencial estuvo orientado a contratar personas con título profesional que tuvieran vehículo y residencia permanente en las comunas Temuco o Padre las Casas. Para ello, se publicó un anuncio en portales web para ofertar empleos (yapo.cl y chiletrabajos.cl) entre los días 31 de abril y 7 de mayo, se recibieron aproximadamente 70 Curriculum Vitae.

Del total de los postulantes se seleccionaron siete candidatos con perfiles de formación universitaria adecuada para aplicar el instrumento (asistentes sociales, antropólogas, profesoras y un ingeniero) y se les citó para una reunión informativa y de capacitación a realizarse en una sala de reuniones de la ciudad de Temuco para el día jueves 18 de mayo de 2017 a las 12:30 hrs.

7.6.2 CAPACITACIÓN DE LOS ENCUESTADORES

La capacitación sobre la aplicación de la encuesta fue dirigida por el Jefe de Proyecto y junto con las instrucciones verbales se les entregó a cada uno de los encuestadores; una carpeta, su respectiva credencial, encuestas, lápices, los controles para supervisión, las tarjetas de ingreso y de tipo de calefactores para que las personas pudieran responder con mayor facilidad algunas preguntas.

El manual del encuestador se envió vía electrónica previamente y se repasaron sus contenidos durante la capacitación. Este manual corresponde a un documento explicativo de la encuesta y las funciones del encuestador, el cual fue elaborado para complementar la capacitación y como una medida de aseguramiento de la calidad de la información recopilada.

Adicionalmente, a cada encuestador se le entregó el material correspondiente y direcciones con el fin de ir entrenándolos y que fueran conociendo los sectores a encuestar.

En la parte final de la capacitación se realizaron ejercicios y juegos de roles para ejemplificar el tipo de respuestas y dificultades con las cuales se podían encontrar al levantar la información.

7.6.3 PRUEBA PILOTO DEL CUESTIONARIO

El fin de semana posterior a la capacitación se realizó un piloto de aplicación del instrumento en terreno (entre los días 18 de mayo y 22 de mayo de 2017), para entrenar a los encuestadores en un contexto real y chequear posibles problemas que pudieran surgir con la encuesta orientada al sector residencial. Lo anterior, apuntó principalmente a evaluar los tiempos de aplicación, los contenidos y la comprensión de la encuesta, y además, la recepción y percepción del instrumento por parte de las personas encuestadas. Como resultado de la aplicación de la encuesta piloto se observó que en general esta fue recibida favorablemente por los hogares seleccionados, incluso en lo relativo a algunas preguntas que normalmente son sensibles como el nivel de ingreso del grupo familiar.

Luego, el día lunes 22 de mayo se les solicitó a los encuestadores reunirse con el Supervisor de Terreno, quien tuvo como misiones principales controlar las encuestas realizadas, chequear la consistencia lógica de las encuestas recibidas, así como también, recibir y entregar nuevas encuestas y materiales para la siguiente campaña o ronda de levantamiento de información.

Los encuestadores capacitados que cumplieron perfectamente con las expectativas del piloto, fueron cinco personas y realizaron 52 encuestas en total. De estas 28 encuestas fueron aplicadas a direcciones en las cuales se sabía que existían subsidio a calefactores y 24 para subsidio de aislación.

7.6.4 CRONOGRAMA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Después de la campaña piloto algunos encuestadores solicitaron autorización para poder encuestar también durante la semana (ya que inicialmente se les había señalado que lo hicieran solo los días viernes, sábados y domingos).

También, se planificó el resto de las campañas de forma semanal partiendo el día jueves y terminando con la entrega de las encuestas realizadas el día miércoles de cada semana. Sin embargo, el cronograma real se vio afectado particularmente en junio y julio por muy desfavorables condiciones climáticas como lluvias y fuerte viento.

Tabla 34. Cronograma de campañas para levantamiento de encuestas

Campaña	Fechas
1	25 de mayo al 31 de mayo
2	1 de junio al 7 de junio
3	8 de junio al 14 de junio
4	15 de junio al 28 de junio
5	29 de junio al 12 de julio
6	13 de julio al 2 de agosto

Fuente: Elaboración propia

El Supervisor de Terreno fue el encargado de entregar el material requerido para el levantamiento de información, recepcionar e inspeccionar la consistencia lógica de las encuestas, y posteriormente, enviarlas por correo desde Temuco a la Jefa de Terreno en Concepción.

La Jefa de Terreno revisaba y chequeaba nuevamente la información contrastando algunos datos clave de las respuestas generadas en las encuestas con el listado de beneficiados de los programas para validar la calidad de la información generada en este estudio. El resultado de la validación de las encuestas con los registros oficiales fue bastante útil, ya que en casi la totalidad de los casos las encuestas reportaban correctamente el tipo de programa (cabe señalar que los encuestadores desconocían el tipo de programa del cual había sido beneficiado el hogar encuestado). En casos muy puntuales algunos hogares declararon que no habían sido beneficiados por un programa, posiblemente por falta de conocimiento u olvido, en esta situación se corrigió la encuesta reemplazando el dato erróneo por la información oficial.

7.6.5 PROBLEMAS ASOCIADOS AL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

En general, la aceptación de los hogares para responder la encuesta fue favorable pero hubo casos en los cuales los encuestadores señalaron que en algunas viviendas de las direcciones asignadas se habían negado a contestar, pero esto es bastante normal en este tipo de levantamiento de información.

Otro problema detectado es que en las bases de datos proporcionadas por el MMA algunas de las direcciones de las viviendas tenían el nombre de la calle o pasaje pero no la numeración de la vivienda, lo cual impidió asignar estas direcciones a los encuestadores.

Finalmente, durante el piloto un problema señalado por ciertos encuestadores fue que algunas direcciones asignadas no podían ser encontradas. Esto se explica porque muchas de las direcciones solo poseen la calle o pasaje y su numeración, pero no está especificado el sector, población o villa, lo cual les impidió identificar esas viviendas. En la capacitación se les explicó que las direcciones debían ser chequeadas por Google Maps antes de hacer los recorridos programados por ellos para cubrir los sectores asignados, para facilitar y reducir los tiempos de desplazamiento. De todas formas se volvió a explicar este procedimiento en el contacto continuo que se tuvo con los encuestadores, y además, esas direcciones fueron reasignadas a otros encuestadores, ya que sus conocimientos de ciertos sectores de la ciudad podrían facilitar la identificación de estas viviendas.

Como aún persistían los problemas con algunas direcciones, el equipo de trabajo volvió a chequear las direcciones en Google Maps, determinando que el problema estaba relacionado con la falta de actualización de algunas calles y barrios nuevos en este software. Por lo cual, se procedió a revisar la ubicación de las calles y viviendas con un plano digital con alto nivel de detalle y actualizado obtenido en la municipalidad de Temuco.

7.6.6 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN REQUERIDA

A partir de las diferentes campañas realizadas durante los meses de mayo, junio y julio se pudo cumplir con la meta comprometida de obtener información de al menos 130 encuestas con beneficiarios de aislación (efectivamente se encuestaron 131 hogares), 130 encuestas con beneficiarios de calefactores y 130 encuestas con controles, estos últimos fueron seleccionados de forma aleatoria sistemática y por su disposición a contestar la encuesta. Sin embargo, se debe aclarar que algunas viviendas que fueron seleccionadas por tener un tipo de beneficio también fueron beneficiados con otro programa, ya sea en el mismo periodo de análisis (2015 a 2017) o en años previos, por lo cual aun cuando fueron inicialmente seleccionadas 130 encuestas con beneficiarios de cada tipo de programa, en la realidad existe un subconjunto de encuestas que tienen ambos tipos de beneficios. Esta situación no es un problema ya que incluso tener datos de ese tipo de viviendas puede ayudar a determinar el efecto conjunto de ambos programas. En el caso de los controles, se debe mencionar que como muchos hogares ya había sido beneficiados con algún programa en la zona de estudio, no todos los hogares seleccionados con el procedimiento aleatorio cumplían con el requisito de no ser beneficiario en el periodo de análisis. De todas formas luego de eliminar esos casos se logró alcanzar el número de 130 encuestas de controles tal como se había comprometido. El detalle del levantamiento se puede apreciar en la Tabla 29.

Tabla 29. Detalle de levantamiento encuestas según tipo

	Piloto	Campaña N° 1	Campaña N° 2	Campaña N° 3	Campaña N° 4	Campaña N° 5	Campaña N° 6	Total
Aislación	24	33	16	26	19	12	1	131
Calefactores	28	30	27	11	0	19	15	130
Controles	0	0	5	32	13	29	51	130
Total	52	63	48	69	32	60	67	391

Fuente: Elaboración propia

7.7 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN EX - POST

7.7.1 EVALUACIÓN EX - POST DE PDA COMO PROGRAMA CONSOLIDADO

En el caso de la evaluación ex - post del PDA como un programa consolidado se busca demostrar que el nivel de concentraciones con periodicidad mensual ha disminuido producto de la aplicación de este instrumento de gestión ambiental. Se utiliza una periodicidad mensual ya que de esta forma se puede obtener variabilidad suficiente para la variable de resultado y relacionarla con la fecha de implementación del PDA para las ciudades bajo tratamiento, incluyendo variables de control meteorológicas y estacionalidad mensual, tanto para las ciudades bajo tratamiento como con las ciudades utilizadas como grupo de control. El grupo de control se construye a partir de mediciones de concentraciones de material particulado en las estaciones de monitoreo en las cuales no se ha implementado un PDA (Valdivia), y también, en las cuales la implementación del PDA fue en una fecha diferente a la fecha en la cual se implementó el PDA de Temuco y Padre Las Casas (Rancagua, San Fernando, Rengo, Coyhaique y Osorno).

Así, se puede utilizar la técnica de diferencias en diferencias para determinar el impacto de la implementación de un PDA sobre las concentraciones para testear la hipótesis planteada. Cabe señalar, que esta estrategia de identificación se puede realizar porque en Chile se han implementado diversos PDA para poder reducir los niveles de contaminación en zonas específicas que han sido declaradas como saturadas.

Tabla 30. Resumen de aspectos relacionados con la evaluación ex - post del PDA como programa consolidado

Variable de resultado	Tratamiento	Estrategia de identificación	Grupos de control	Supuestos asociados
Nivel de concentraciones de MP ₁₀ con periodicidad mensual	Entrada en vigencia de PDA	Método de diferencias en diferencias	Comunas con características geográficas y meteorológicas similares que no han implementado aún un PDA o lo implementaron en un periodo diferente al PDA de Temuco y Padre Las Casas	Se asume que los factores no observables a nivel comunal permanecen constantes en el tiempo y que los factores no observables entre el grupo de tratamiento y control siguen tendencias similares a través del tiempo

Fuente: Elaboración propia

Descripción de datos

La base de datos de panel con periodicidad mensual para la evaluación de este programa se basa en información secundaria obtenida del SINCA para mediciones de MP₁₀ y variables meteorológicas en siete comunas del centro - sur de Chile con problemas de contaminación por uso de leña para combustión residencial, también incluye dos variables *dummies* que reflejan la implementación de un PDA o un PDA específico para MP_{2,5}, una variable que indica el número de meses desde la aplicación del PDA, y además, una variable que indica el mes para construir variables *dummies* que permitan controlar por estacionalidad mensual. El periodo de tiempo comprende desde el mes de febrero del año 2009 hasta el mes de marzo del año 2017.

La Tabla 31 presenta la estadística descriptiva de las variables disponibles en la base de datos. Se observa que algunas variables como las concentraciones mensuales de MP₁₀, temperaturas, viento y precipitaciones, no están disponibles para todo el periodo analizado en todas las comunas. Sin embargo, el mayor problema surge con los datos para la variable de precipitaciones que solo cuenta con 161 observaciones de un total de 686. Mientras que las variables asociadas al mes y a la implementación de un PDA o un PDA solo para MP_{2,5} están disponibles para todo el periodo de interés.

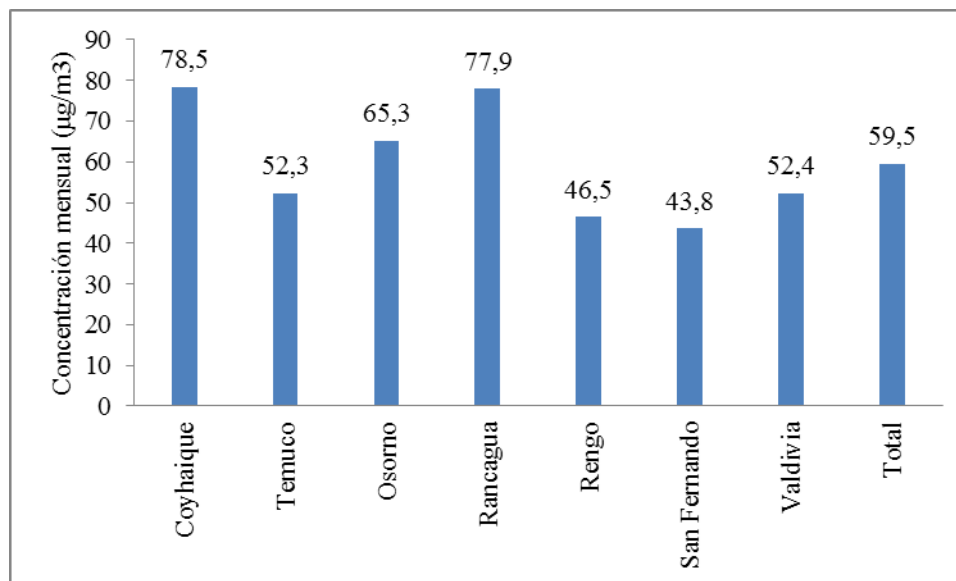
Tabla 31. Estadística descriptiva base de datos para evaluación ex - post de PDA como programa consolidado

Variable	Observaciones	Promedio	Desv. Est.	Mínimo	Máximo
<i>mp10</i>	660	59,5164	35,9016	5,5378	252,7420
<i>temperatura</i>	654	12,7012	4,7783	1,8219	26,2480
<i>precipitaciones</i>	161	0,1027	0,2653	0,0000	2,7218
<i>viento</i>	632	1,8224	0,7852	0,3679	16,0208
<i>mes</i>	686	6,4184	3,4664	1,0000	12,0000
<i>pda</i>	686	0,3601	0,4804	0,0000	1,0000
<i>pdamp25</i>	686	0,2653	0,4418	0,0000	1,0000
<i>meses desde pda</i>	686	5,3834	11,4856	0,0000	47,0000

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 50 representa las concentraciones promedio de MP₁₀ por comuna, apreciándose que la ciudad de Temuco posee niveles similares a la ciudad de Valdivia que es utilizada como control dado que no tiene un PDA implementado en el periodo analizado. Las comunas con mayores niveles promedio de contaminación son Coyhaique y Rancagua.

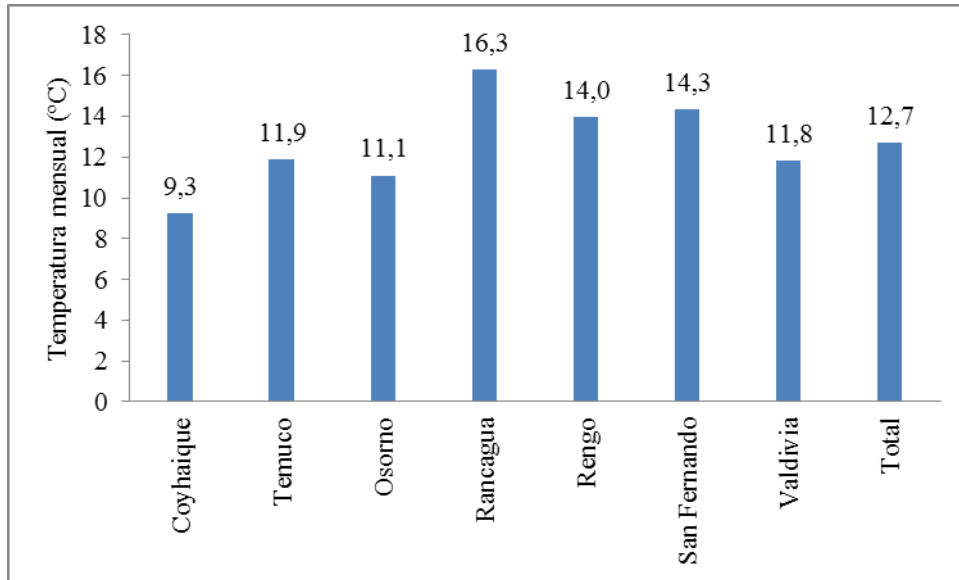
Figura 50. Concentraciones promedio de MP₁₀ por comuna (febrero de 2009 - marzo de 2017)



Fuente: Elaboración propia

La Figura 51 representa las temperaturas promedio por comuna, en este caso nuevamente existe una gran similitud en las temperaturas de Temuco y Valdivia. Obviamente, las comunas localizadas más al norte tienen temperaturas más altas porque los datos también incluyen los meses de verano.

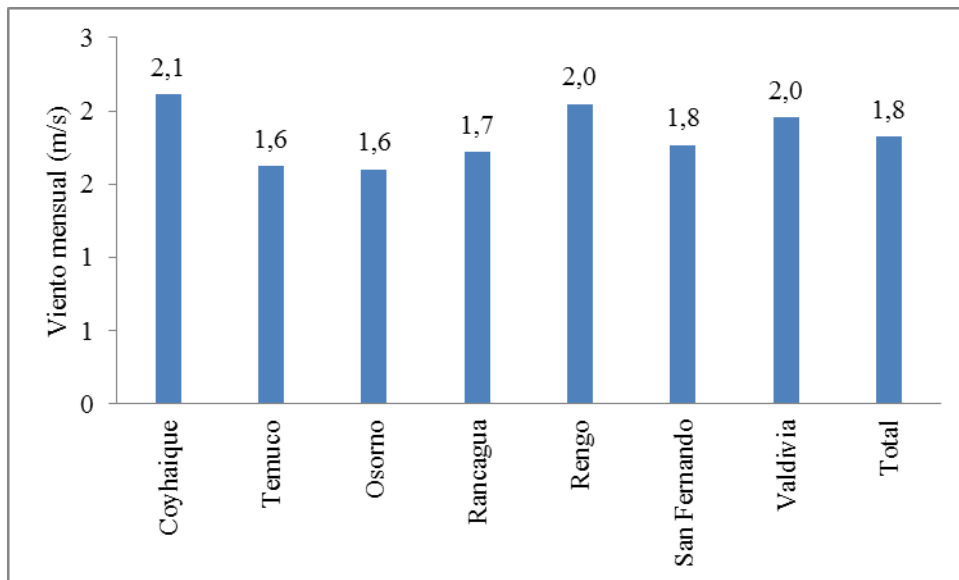
Figura 51. Temperaturas promedio por comuna (febrero de 2009 - marzo de 2017)



Fuente: Elaboración propia

La Figura 52 muestra la velocidad del viento promedio por comuna, en este caso existe una similitud en los datos de Temuco, Osorno y Rancagua, y además, no se observa una gran heterogeneidad entre comunas.

Figura 52. Velocidad del viento promedio por comuna (febrero de 2009 - marzo de 2017)



Fuente: Elaboración propia

Resultados

El método diferencias en diferencias implementado con una regresión de datos de panel con efecto fijo estima el efecto promedio en las concentraciones mensuales de MP_{10} si se implementa un PDA (independiente del contaminante regulado ya sea MP_{10} o $MP_{2,5}$) o un PDA solo para $MP_{2,5}$, eliminando factores no observables que permanecen constantes entre comunas y efectos no observables individuales a nivel comunal. Así, el método permite estimar el efecto promedio del tratamiento.

Para evaluar la robustez de los resultados se estimaron siete especificaciones. La primera especificación solo incluye la implementación de un PDA (sin distinguir el contaminante regulado, ya sea para MP_{10} o $MP_{2,5}$), la segunda especificación además incluye una variable para la implementación de un PDA solo para $MP_{2,5}$, la tercera especificación incluye las variables anteriores y controla por temperatura, la cuarta especificación incluye las variables anteriores y controla por viento, la quinta especificación incluye las variables anteriores y controla por estacionalidad mensual, la sexta especificación incluye como control la variable de concentración de MP_{10} del mes anterior, y la séptima especificación incluye como variable de control adicional el número de meses desde que se implementó el PDA.

En los resultados de la Tabla 32 se observa que la variable asociada a la implementación de un PDA (independiente del contaminante regulado ya sea MP_{10} o $MP_{2,5}$) es estadísticamente significativa en tres especificaciones que no incluyen aquellas con más variables de control e incluso tienen el signo contrario al esperado. Sin embargo, los resultados muestran que la implementación de un PDA para $MP_{2,5}$ sí tiene un impacto negativo y significativo, siendo robusto en las especificaciones que incluyen la variable dependiente rezagada, pero su impacto es acotado ya que a pesar de los grandes recursos involucrados en la implementación de este tipo de instrumento de gestión ambiental solo reduce las concentraciones promedio mensuales de MP_{10} entre 1,23 y 3,83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dependiendo del número de variables de control incluidas en cada especificación, lo cual equivale aproximadamente a una reducción de entre un 2% y 5% de las concentraciones promedio en las comunas incluidas en la base de datos. En el modelo con más variables de control la reducción es de 2,53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} como promedio mensual mientras que la estimación del AGIES de Temuco y Padre Las Casas asumía una reducción de 8,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Cabe señalar que el impacto estimado corresponde a los primeros años de funcionamiento del PDA, ya que los planes fueron implementados a partir del año 2013 y 2015 mientras que los datos utilizados solo abarcan hasta el año 2017. Por otra parte, el impacto de las variables meteorológicas de temperaturas y viento no es robusto a las diversas especificaciones. También, pareciera ser relevante la inclusión del nivel de concentraciones de MP_{10} del mes previo. Finalmente, se observa una marcada estacionalidad mensual de las concentraciones entre los meses de otoño e invierno.

Los resultados anteriores muestran que la implementación de un PDA en una zona saturada aunque reduce las concentraciones promedio, no ha sido suficientemente efectiva en su diseño o ejecución para generar una caída importante en el nivel de contaminación. Esto

también refuerza la idea de mejorar los supuestos de las evaluaciones ex - ante (Análisis General del Impacto Económico y Social) que parecieran ser demasiado optimistas en la efectividad de las medidas incluidas en los PDA (como por ejemplo en el aislamiento térmico de viviendas existentes, tal como se demostrará en las siguientes secciones). Un resumen de los principales resultados obtenidos y cuadro comparativo con las estimaciones ex - ante utilizadas en el AGIES se presentan en la Tabla 33.

Tabla 32. Resultados de evaluación ex - post PDA como programa consolidado sobre las emisiones de MP₁₀

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7
<i>pda</i>	-1,437 [2,388]	9,007 ** [1,075]	7,804 ** [1,595]	6,979 ** [1,844]	-0,248 [1,965]	0,554 [1,201]	0,472 [1,410]
<i>pdamp25</i>		-11,52 ** [1,075]	-4,685 [2,931]	-4,561 [2,902]	-4,694 [2,441]	-2,325 * [0,869]	-2,527 ** [0,652]
<i>temperatura</i>			-4,695 * [1,517]	-5,074 * [1,417]	1,936 [1,802]	0,824 [1,111]	0,808 [1,169]
<i>viento</i>				1,472 [5,472]	3,712 [3,347]	-4,5 [3,183]	-4,511 [3,192]
<i>febrero</i>					3,732 [2,636]	0,362 [1,684]	0,342 [1,672]
<i>marzo</i>					15,54 * [5,759]	7,058 [2,969]	7,007 [3,136]
<i>abril</i>					47,22 ** [11,82]	29,03 ** [4,136]	28,94 ** [4,160]
<i>mayo</i>					77,14 ** [14,96]	42,73 ** [4,216]	42,61 ** [4,428]
<i>junio</i>					86,68 ** [15,67]	35,69 ** [9,449]	35,52 * [10,11]
<i>julio</i>					91,2 ** [18,52]	37,41 ** [7,335]	37,23 ** [7,888]
<i>agosto</i>					68,21 ** [17,19]	15,79 [7,773]	15,63 [8,421]
<i>septiembre</i>					44,21 * [14,98]	5,419 [9,214]	5,285 [9,685]
<i>octubre</i>					20,69 [11,21]	-3,458 [7,280]	-3,557 [7,712]
<i>noviembre</i>					8,29 [7,241]	-1,209 [4,443]	-1,265 [4,665]
<i>diciembre</i>					3,382 [3,642]	0,56 [1,583]	0,537 [1,668]
<i>mp10 (t-1)</i>						0,551 ** [0,0821]	0,551 ** [0,0828]
<i>meses desde pda</i>							0,0151 [0,0828]
<i>constante</i>	60,03 ** [0,857]	59,42 ** [0,679]	117,1 ** [18,76]	119,5 ** [23,91]	-9,598 [32,70]	10,21 [23,17]	10,51 [23,92]
<i>Observaciones</i>	660	660	635	609	609	594	594
<i>R2</i>	0	0,004	0,359	0,388	0,575	0,713	0,713

Fuente: Elaboración propia. Nota: Errores estándar robustos en los paréntesis. (*) Significativo al 5% y (**) significativo al 1%

Tabla 33. Resumen de resultados de la evaluación ex - post del PDA como programa consolidado

Tratamiento	Impacto estimado para Temuco y Padre Las Casas	Robustez de impacto	Valor de impacto recomendado	Intervalo de confianza al 95%	Resultados ex - ante de AGIES para PDA de Temuco y Padre Las Casas
Aplicación de PDA para M _{2,5}	Reducción de 2,53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el modelo con más variables de control	Sí, cuando se incluye la variable dependiente rezagada	2,53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	[1,23 ; 3,83] $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Reducción de 8,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ al segundo año de implementación del PDA de Temuco y Padre Las Casas (Fuente: MMA, 2014)

Fuente: Elaboración propia

7.7.2 EVALUACIÓN EX - POST DEL PROGRAMA DE GESTIÓN DE EPISODIOS CRÍTICOS

En el caso de la evaluación ex - post del programa de gestión de episodios críticos se busca demostrar que el nivel de concentraciones con periodicidad horaria ha disminuido en el corto plazo debido a la aplicación de restricciones al uso de calefacción residencial en días de pre-emergencia y emergencia ambiental en las zonas delimitadas y sujetas a prohibición en Temuco y Padre Las Casas. Se utiliza una periodicidad horaria ya que las restricciones inicialmente fueron implementadas desde 17:00 a 23:00 horas, luego desde 17:00 a 0:00 horas, y actualmente, desde 18:00 a 6:00 horas. En consecuencia, se relaciona el nivel de concentraciones de material particulado con la fecha y hora de restricción por pre-emergencia o emergencia ambiental, incluyendo variables de control meteorológicas, tanto para las estaciones de monitoreo localizadas en la zona con prohibición como en la estación de monitoreo localizada en la zona sin prohibición que es utilizada como grupo de control.

Así, se puede utilizar una técnica de diferencias en diferencias para determinar el impacto de la implementación de una restricción por pre-emergencia o emergencia ambiental sobre las concentraciones para testear la hipótesis planteada. Cabe señalar, que esta estrategia de identificación se puede realizar porque la zona de Temuco y Padre Las Casas fue dividida en polígonos con y sin prohibición por razones que no se fundamentan en aspectos técnicos, y además, afortunadamente existen estaciones de monitoreo localizadas en ambas zonas.

Tabla 34. Resumen de aspectos relacionados con la evaluación ex - post del programa de gestión de episodios críticos

Variable de resultado	Tratamiento	Estrategia de identificación	Grupos de control	Supuestos asociados
Nivel de concentraciones de MP ₁₀ o MP _{2,5} con periodicidad horaria	Prohibición de uso de calefacción residencial a leña durante episodio crítico de pre-emergencia y emergencia	Método de diferencias en diferencias	Estación de monitoreo ubicada en la zona de Padre Las Casas en la cual no se han realizado prohibiciones asociadas a la gestión de episodios críticos	Se asume que los factores no observables a nivel de estación de monitoreo permanecen constantes en el tiempo y que los factores no observables entre el grupo de tratamiento y control siguen tendencias similares a través del tiempo

Fuente: Elaboración propia

Descripción de datos

La base de datos de panel con periodicidad horaria para la evaluación de este programa se basa en información secundaria obtenida del SINCA para mediciones de concentraciones de MP₁₀ y MP_{2,5}, así como también, variables meteorológicas (viento, precipitaciones y temperatura) en tres estaciones de monitoreo localizadas en Temuco y Padre Las Casas. Además, incluye tres variables *dummies* que reflejan el anuncio de un día de episodio crítico (emergencia o pre-emergencia), un día de emergencia y un día de pre-emergencia ambiental, lo anterior para reflejar que es un día con pronóstico de altas concentraciones de contaminación en toda la cuenca de Temuco y Padre Las Casas. También, se incluyen tres variables *dummies* que reflejan la prohibición solo en zona regulada durante un día de episodio crítico (emergencia o pre-emergencia), un día de emergencia y un día de pre-emergencia ambiental. Todas estas variables *dummies* previamente mencionadas adoptan un valor igual a uno solo en el horario bajo prohibición y cero en otro caso. El periodo de tiempo comprende desde la 1:00 am del día 22 de Marzo del año 2012 hasta las 23:00 horas del día 21 de Marzo del año 2017.

La Tabla 35 presenta la estadística descriptiva de las variables disponibles en la base de datos. Se observa que las concentraciones horarias de MP₁₀ y MP_{2,5} no están completamente disponibles en todo el periodo pero que el número de observaciones de ambas es relativamente similar, por lo cual se puede estimar el impacto de este programa para ambos contaminantes. Aunque el promedio de estas concentraciones es 56,8 µg/m³ para MP₁₀ y 38,7 µg/m³ para MP_{2,5}, sus niveles máximos han alcanzado incluso sobre los 1000 µg/m³ en algunas horas del día.

Aunque aparentemente las variables meteorológicas están disponibles en un número relativamente similar, al desagregar por estación de monitoreo se concluye que los datos de temperatura solo están disponibles en un 23,9% en la estación utilizada como grupo de control, mientras que en un 79,5% y 81,1% en las estaciones utilizadas como grupo de tratamiento. En consecuencia, aun cuando se incluirá una especificación con todas las variables meteorológicas es necesario tener en cuenta que se estará evaluando un periodo más corto de tiempo cuando se incluye como control la variable temperatura.

Por otra parte, han existido 4518 horas con anuncio de episodio crítico que representa un 3,4% del periodo analizado, 1818 horas con anuncio de emergencia que representa un 1,4% del periodo analizado y 2700 horas con anuncio de pre - emergencia que representa un 2,1% del periodo analizado. Los porcentajes de datos que representan prohibición en cada tipo de episodio corresponde a dos tercios de los porcentajes mencionados en el párrafo previo ya que existen dos estaciones de monitoreo incluidas en la zona de prohibición y una estación de monitoreo fuera de esa zona.

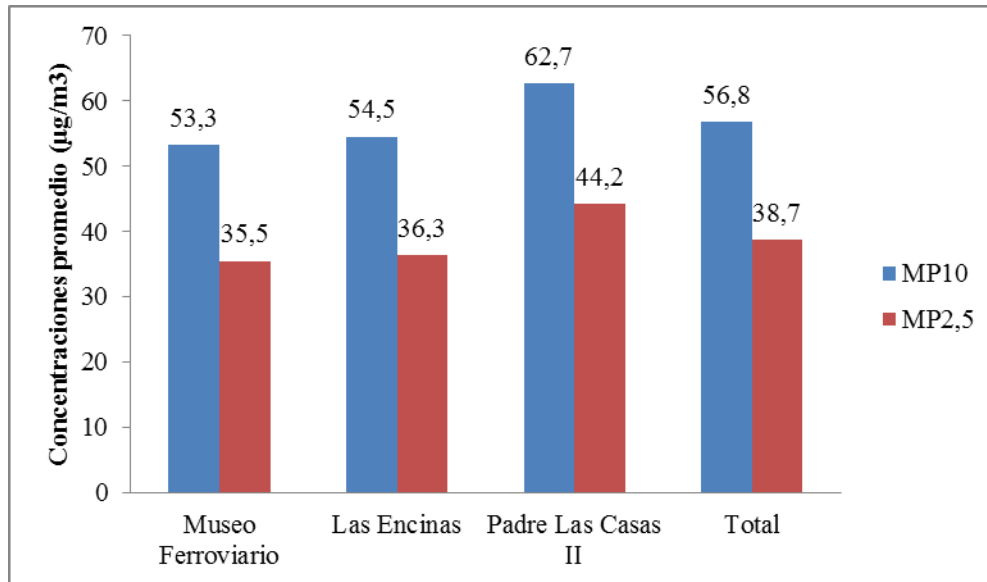
Tabla 35. Estadística descriptiva base de datos para evaluación ex - post del programa de gestión de episodios críticos

Variable	Observaciones	Promedio	Desv. Est.	Mínimo	Máximo
<i>mp10</i>	116011	56,834	80,268	0,900	1101,000
<i>mp25</i>	118843	38,686	71,284	0,100	1000,000
<i>anuncio episodio crítico</i>	131469	0,034	0,182	0,000	1,000
<i>anuncio emergencia</i>	131469	0,014	0,117	0,000	1,000
<i>anuncio pre-emergencia</i>	131469	0,021	0,142	0,000	1,000
<i>prohibición episodio crítico</i>	131469	0,023	0,150	0,000	1,000
<i>prohibición emergencia</i>	131469	0,009	0,096	0,000	1,000
<i>prohibición pre-emergencia</i>	131469	0,014	0,116	0,000	1,000
<i>viento</i>	100927	1,556	1,222	0,000	14,240
<i>temperatura</i>	80834	11,982	4,982	-6,100	36,808
<i>precipitaciones</i>	96568	0,156	0,948	0,000	46,000

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 53 representa las concentraciones promedio de MP₁₀ y MP_{2,5} por estación de monitoreo, apreciándose que la estación de Padre Las Casas que es utilizada como grupo de control tiene niveles de contaminación más elevados que las estaciones bajo la restricción, esto se puede explicar por la misma efectividad del programa de gestión de episodios críticos o bien a características particulares de la zona sin prohibición (por ejemplo, ser un sector con mayor densidad de casas). Sin embargo, esta diferencia no es tan relevante ya que el método de diferencias en diferencias solo requiere que los factores no observables individuales (por ejemplo, la densidad de casas) se mantenga constante a través del tiempo, lo cual es un supuesto bastante razonable en el periodo bajo análisis.

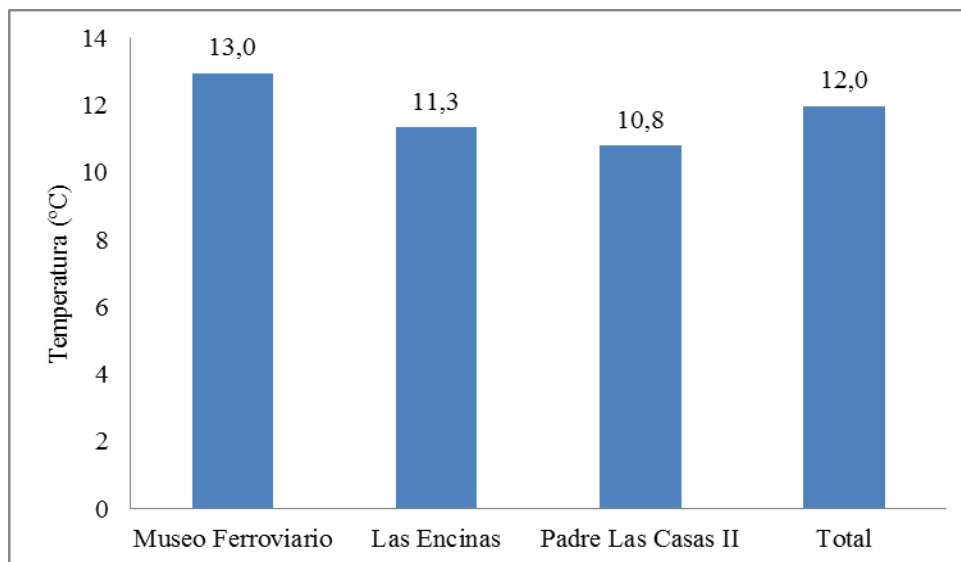
Figura 53. Concentraciones promedio de MP₁₀ y MP_{2,5} por estación de monitoreo (22 de marzo de 2012 - 21 de marzo de 2017)



Fuente: Elaboración propia

La Figura 54 representa las temperaturas promedio por estación de monitoreo, en este caso existe una mayor similitud entre la estación de Las Encinas que está bajo prohibición y Padre Las Casas II que es utilizada como control. Pero cabe recordar que existen mucho menos observaciones válidas en el caso de la estación de Padre Las Casas II, por lo cual la comparación debe ser tomada con precaución.

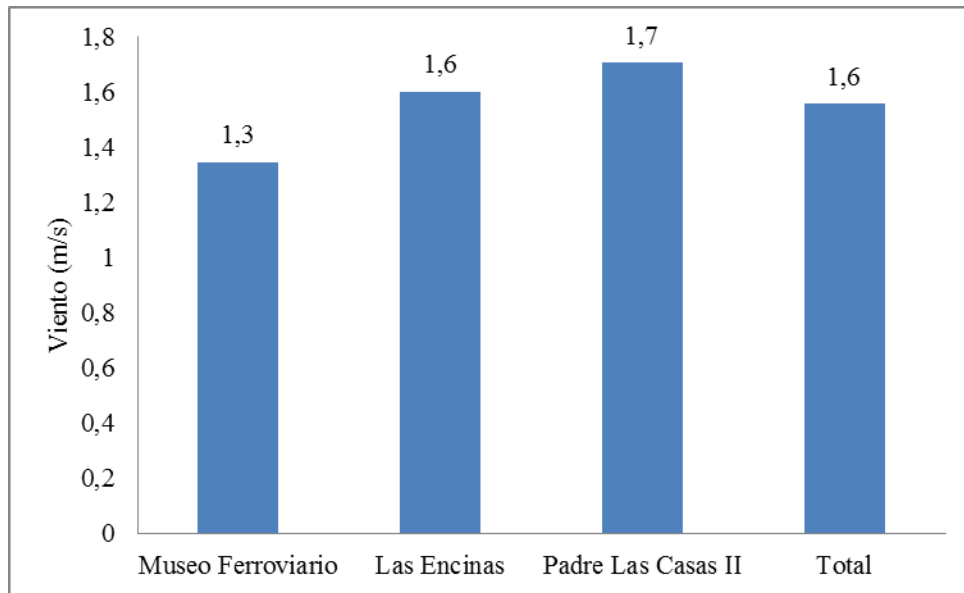
Figura 54. Temperaturas promedio por estación de monitoreo (22 de marzo de 2012 - 21 de marzo de 2017)



Fuente: Elaboración propia

La Figura 55 muestra la velocidad del viento promedio por estación de monitoreo, en este caso nuevamente existe una mayor similitud en los datos de las estaciones de monitoreo de Las Encinas y Padre Las Casas II.

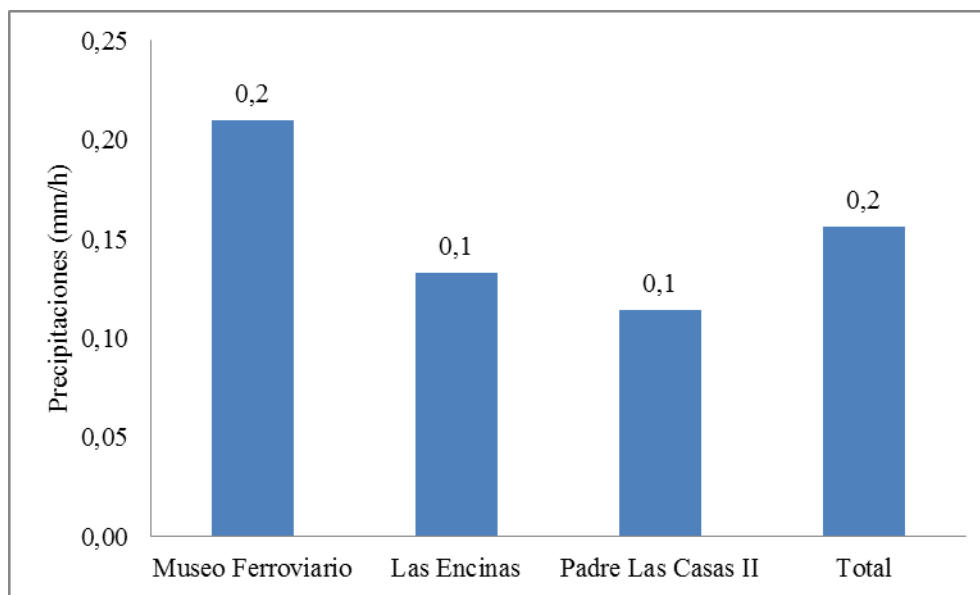
Figura 55. Velocidad del viento promedio por estación de monitoreo (22 de marzo de 2012 - 21 de marzo de 2017)



Fuente: Elaboración propia

La Figura 56 muestra las precipitaciones promedio por estación de monitoreo, al igual que en las figuras anteriores también se observa una mayor similitud en los datos de las estaciones de monitoreo de Las Encinas y Padre Las Casas II.

Figura 56. Precipitaciones promedio por estación de monitoreo (22 de marzo de 2012 - 21 de marzo de 2017)



Fuente: Elaboración propia

Resultados

El método diferencias en diferencias implementado a través de una regresión de datos de panel con efecto fijo estima el efecto promedio en las concentraciones horarias de MP_{10} o $MP_{2,5}$ si se aplica una prohibición por episodio crítico (independiente del tipo de episodio emergencia o pre-emergencia), eliminando factores no observables que permanecen constantes entre estaciones de monitoreo y efectos no observables individuales en cada estación de monitoreo. Así, el método permite estimar el efecto promedio del tratamiento.

Para evaluar la robustez de los resultados se estimaron seis especificaciones de modelos para cada tipo de contaminante. La primera especificación solo incluye como variable explicativa el anuncio y la prohibición de un episodio crítico (emergencia o pre-emergencia), la segunda especificación además incluye variables *dummies* para cada hora del día, la tercera especificación incluye las variables anteriores y controla por viento, la cuarta especificación incluye las variables anteriores y controla por precipitaciones, la quinta especificación incluye las variables anteriores y controla por temperatura, y la sexta especificación además incluye como control la variable de concentración de la hora anterior.

La Tabla 36 muestra los resultados asociados al contaminante MP_{10} , observándose que la variable asociada a la prohibición durante un episodio crítico (independiente del tipo de episodio) es estadísticamente significativa en todas las especificaciones, generando aproximadamente una reducción entre 15 y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} . Sin embargo, el impacto estimado es menor en valor absoluto en la especificación del modelo 5, lo cual se puede explicar por la inclusión de la variable temperatura que reduce bastante el número de

observaciones. En estos modelos se aprecia un efecto significativo y negativo sobre las concentraciones durante las horas de la madrugada, y también, un efecto significativo y positivo durante las horas de la tarde o noche, evidenciando los patrones de uso de leña durante el día. Por otro lado, se aprecia un efecto negativo y significativo de la velocidad del viento, lo cual es consistente con su capacidad para diluir los contaminantes en el aire, mientras que la temperatura solo tiene un efecto negativo y significativo en el último modelo, lo que parece razonable debido a que mayores temperaturas deberían reducir el uso de leña. Finalmente, cabe destacar que la última especificación estimada que incluye un componente rezagado de la contaminación horaria es el modelo que tiene el más alto R^2 .

La Tabla 37 muestra resultados muy similares para todas las variables explicativas pero asociados al contaminante $MP_{2.5}$. En este caso la variable asociada a la prohibición durante un episodio crítico (independiente del tipo de episodio) es estadísticamente significativa en todas las especificaciones, generando aproximadamente una reducción entre 10 y 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $MP_{2.5}$. Este resultado es bastante razonable relativo a los estimados en la Tabla 36 para el MP_{10} ya que en la zona sur de Chile una fracción muy importante del MP_{10} es $MP_{2.5}$.

Los resultados anteriores muestran que la implementación de la prohibición por episodio crítico es efectiva para reducir la contaminación en el corto plazo, lo cual concuerda con los bajos niveles de incumplimiento de esta regulación. Esto también refuerza la idea de ampliar esta medida del PDA de Temuco y Padre Las Casas en otras zonas del país con problemáticas similares.

Tabla 36. Resultados de evaluación ex - post de prohibición por episodio crítico de programa GEC sobre las concentraciones horarias de MP₁₀

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
<i>anuncio episodio crítico</i>	150.5 ** [3.55e-08]	139.2 ** [1.960]	100.3 ** [0.391]	110.2 ** [2.852]	71.48 ** [5.632]	37.02 ** [1.251]
<i>prohibición episodio crítico</i>	-49.27 ** [1.361]	-49.25 ** [1.420]	-27.49 ** [1.392]	-38.94 ** [1.798]	-15.23 * [3.067]	-30.87 ** [1.814]
<i>hora 01:00</i>		-13.57 ** [1.127]	-13.33 ** [0.237]	-13.93 ** [0.952]	-15.57 ** [1.273]	-5.042 ** [0.252]
<i>hora 02:00</i>		-25.13 ** [2.231]	-23.74 ** [0.868]	-24.82 ** [1.754]	-28.20 ** [2.722]	-6.426 ** [1.720]
<i>hora 03:00</i>		-34.34 ** [1.936]	-33.51 ** [2.098]	-35.31 ** [2.242]	-39.79 ** [3.098]	-6.981 * [0.971]
<i>hora 04:00</i>		-41.20 ** [2.218]	-40.53 ** [2.705]	-42.74 ** [2.870]	-48.57 ** [4.000]	-6.365 * [0.941]
<i>hora 05:00</i>		-44.53 ** [2.100]	-44.25 ** [3.559]	-47.34 ** [3.226]	-54.51 ** [4.773]	-5.106 * [0.874]
<i>hora 06:00</i>		-33.43 * [4.109]	-34.51 * [5.880]	-39.77 * [4.056]	-48.89 * [6.016]	0.744 [1.072]
<i>hora 07:00</i>		-25.42 * [5.489]	-24.87 * [6.653]	-30.44 * [3.907]	-38.24 * [5.754]	7.496 ** [0.543]
<i>hora 08:00</i>		-19.12 [5.104]	-14.51 [6.322]	-19.88 * [3.600]	-23.72 * [5.488]	10.89 ** [0.533]
<i>hora 09:00</i>		-18.94 [4.712]	-9.726 [5.159]	-15.18 * [3.514]	-13.21 [5.337]	7.876 * [1.003]
<i>hora 10:00</i>		-21.92 * [4.710]	-8.708 [3.969]	-13.87 [3.876]	-5.541 [5.160]	6.897 * [1.335]
<i>hora 11:00</i>		-24.94 * [4.398]	-8.722 [3.536]	-14.25 [3.420]	0.301 [4.012]	7.348 * [0.858]
<i>hora 12:00</i>		-28.31 * [4.311]	-9.377 [2.732]	-14.88 [3.839]	4.783 [3.501]	8.588 ** [0.674]
<i>hora 13:00</i>		-30.82 * [4.626]	-9.722 [2.588]	-15.31 [4.168]	8.313 [3.133]	10.19 ** [0.401]
<i>hora 14:00</i>		-31.28 * [5.074]	-9.006 [2.701]	-14.82 [4.299]	11.13 [3.026]	12.43 ** [0.330]
<i>hora 15:00</i>		-29.48 * [5.677]	-5.269 [3.046]	-11.38 [4.230]	14.73 * [3.117]	15.69 ** [0.483]
<i>hora 16:00</i>		-24.83 [6.725]	0.107 [3.994]	-6.283 [4.040]	17.62 * [3.793]	17.96 ** [0.556]
<i>hora 17:00</i>		-15.63 [7.554]	8.202 [6.708]	0.440 [3.909]	19.63 * [4.330]	22.75 ** [1.038]
<i>hora 18:00</i>		-3.086 [8.958]	16.58 [8.904]	10.10 [3.855]	23.87 * [3.167]	29.84 ** [2.985]
<i>hora 19:00</i>		12.65 [10.19]	26.75 [9.059]	21.57 [5.374]	29.59 * [3.554]	28.19 ** [1.891]
<i>hora 20:00</i>		20.82 [10.19]	30.39 [8.820]	26.19 [6.235]	30.93 * [4.384]	22.09 ** [0.583]
<i>hora 21:00</i>		23.30 [8.497]	29.99 [7.447]	25.43 * [4.106]	27.94 ** [2.480]	16.92 ** [0.460]
<i>hora 22:00</i>		17.24 [5.829]	20.51 [5.163]	17.70 * [3.180]	19.35 * [1.978]	9.898 * [1.240]
<i>hora 23:00</i>		11.40 [2.944]	12.56 * [2.397]	11.43 * [1.809]	12.01 ** [0.950]	7.220 * [0.912]
<i>viento</i>			-19.59 ** [0.576]	-19.71 ** [0.999]	-15.90 * [1.907]	-5.746 * [0.814]
<i>precipitaciones</i>				-0.530 [1.089]	-2.684 [0.926]	-0.449 [0.106]
<i>temperatura</i>					-5.278 [1.391]	-0.924 * [0.199]
<i>mp10 (t-1)</i>						0.823 [0.0148]
<i>constante</i>	52.27 ** [0.0351]	68.50 ** [3.933]	89.75 ** [3.556]	95.03 ** [1.929]	146.1 * [17.69]	20.55 * [2.386]
<i>Observaciones</i>	116011	116011	93160	77355	71546	70864
<i>R2</i>	0.083	0.143	0.201	0.188	0.243	0.770

Fuente: Elaboración propia. Nota: Errores estándar robustos en los paréntesis. (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Tabla 37. Resultados de evaluación ex - post de prohibición por episodio crítico del programa GEC sobre las concentraciones horarias de MP_{2,5}

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
<i>anuncio episodio crítico</i>	144.2	95.29 **	95.29 **	84.84 **	68.89 **	34.97 **
		[1.024]	[1.024]	[1.409]	[4.212]	[0.904]
<i>prohibición episodio crítico</i>	-40.97 **	-19.47 *	-19.47 *	-10.46	-11.98 *	-27.51 **
	[3.212]	[3.526]	[3.526]	[3.806]	[1.748]	[1.224]
<i>hora 01:00</i>		-12.20 **	-12.20 **	-12.78 **	-14.90 **	-4.793 *
		[0.678]	[0.678]	[0.592]	[0.970]	[0.657]
<i>hora 02:00</i>		-21.15 **	-21.15 **	-22.11 **	-26.31 **	-5.579
		[0.995]	[0.995]	[0.974]	[2.059]	[1.395]
<i>hora 03:00</i>		-30.28 **	-30.28 **	-31.90 **	-37.77 **	-7.225 **
		[2.156]	[2.156]	[1.662]	[2.691]	[0.610]
<i>hora 04:00</i>		-36.70 **	-36.70 **	-38.72 **	-46.29 **	-6.842 *
		[2.632]	[2.632]	[2.517]	[3.996]	[0.913]
<i>hora 05:00</i>		-39.93 **	-39.93 **	-42.65 **	-51.56 **	-5.217 **
		[3.232]	[3.232]	[2.447]	[4.223]	[0.208]
<i>hora 06:00</i>		-32.75 *	-32.75 *	-37.35 **	-47.89 *	-1.630
		[4.905]	[4.905]	[3.243]	[5.371]	[0.741]
<i>hora 07:00</i>		-26.76 *	-26.76 *	-31.67 *	-40.32 *	3.579
		[5.519]	[5.519]	[3.440]	[5.386]	[1.044]
<i>hora 08:00</i>		-18.49	-18.49	-23.46 *	-27.52 *	7.531 **
		[5.418]	[5.418]	[3.172]	[5.358]	[0.511]
<i>hora 09:00</i>		-14.26	-14.26	-19.30 *	-16.96	5.945 **
		[5.012]	[5.012]	[2.814]	[5.281]	[0.357]
<i>hora 10:00</i>		-12.77	-12.77	-17.35 *	-7.813	6.472 **
		[3.943]	[3.943]	[2.683]	[5.081]	[0.568]
<i>hora 11:00</i>		-13.36	-13.36	-18.21 *	-1.566	6.297 *
		[3.779]	[3.779]	[2.610]	[5.028]	[0.932]
<i>hora 12:00</i>		-14.22 *	-14.22 *	-19.13 *	3.238	7.563 **
		[3.222]	[3.222]	[2.452]	[4.254]	[0.321]
<i>hora 13:00</i>		-14.57 *	-14.57 *	-19.58 *	7.274	9.577 **
		[3.239]	[3.239]	[2.474]	[3.784]	[0.502]
<i>hora 14:00</i>		-14.68	-14.68	-20.03 *	9.531	10.73 **
		[3.506]	[3.506]	[2.411]	[3.254]	[0.0445]
<i>hora 15:00</i>		-12.67	-12.67	-18.21 *	11.66	12.84 **
		[3.786]	[3.786]	[2.375]	[2.943]	[0.145]
<i>hora 16:00</i>		-9.204	-9.204	-15.07 *	12.25	15.00 **
		[4.492]	[4.492]	[1.837]	[2.904]	[0.226]
<i>hora 17:00</i>		-2.636	-2.636	-9.559 *	12.99	19.84 **
		[5.717]	[5.717]	[1.965]	[3.516]	[0.755]
<i>hora 18:00</i>		4.349	4.349	-1.522	15.39 *	26.64 **
		[7.233]	[7.233]	[2.151]	[2.729]	[2.020]
<i>hora 19:00</i>		16.20	16.20	11.57	22.53 *	27.00 **
		[7.241]	[7.241]	[3.439]	[2.808]	[1.431]
<i>hora 20:00</i>		21.11	21.11	17.36	24.46 *	21.52 **
		[6.472]	[6.472]	[4.191]	[3.726]	[1.016]
<i>hora 21:00</i>		22.73	22.73	18.63 *	23.07 *	16.95 **
		[6.177]	[6.177]	[3.275]	[2.803]	[0.155]
<i>hora 22:00</i>		17.23 *	17.23 *	15.16 *	18.14 *	11.29 **
		[3.650]	[3.650]	[2.226]	[1.920]	[0.683]
<i>hora 23:00</i>		10.99 *	10.99 *	10.28 **	11.95 **	7.354 *
		[1.366]	[1.366]	[0.677]	[0.719]	[0.864]
<i>viento</i>		-17.64 **	-17.64 **	-17.92 **	-13.84 *	-5.110 *
		[0.845]	[0.845]	[1.040]	[1.944]	[0.780]
<i>precipitaciones</i>				0.732	-1.607	-0.164 *
				[0.691]	[0.420]	[0.0318]
<i>temperatura</i>					-6.058 *	-1.138 *
					[1.153]	[0.118]
<i>mp25 (t-1)</i>						0.813 **
						[0.00627]
<i>constante</i>	34.26 **	73.21 **	73.21 **	77.42 **	137.1 *	20.60 **
	[0.0812]	[4.517]	[4.517]	[0.377]	[14.11]	[0.139]
<i>Observaciones</i>	118843	95884	95884	80028	72924	72243
<i>R2</i>	0.101	0.221	0.221	0.207	0.310	0.782

Fuente: Elaboración propia. Nota: Errores estándar robustos en los paréntesis. (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

A continuación se presenta el mismo análisis previo pero ahora desagregando por tipo de episodio crítico. Este análisis es importante ya que permitirá evaluar si se requiere o no modificar el alcance de cada tipo de prohibición. Cabe recordar que en el caso de pre-emergencia se prohíbe el uso de más de un artefacto a leña mientras que en el caso de emergencia se prohíbe el uso de cualquier artefacto a leña.

La Tabla 38 muestra los resultados asociados al contaminante MP_{10} , observándose que la variable asociada a la prohibición durante un episodio de emergencia permite reducir las concentraciones en una magnitud mayor que durante un episodio de pre-emergencia. El efecto negativo de ambas medidas es estadísticamente significativo en todas las especificaciones, generando aproximadamente una reducción entre 40 y 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} durante una emergencia y una reducción entre 10 y 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} durante una pre-emergencia. Las variables de control utilizadas tienen efectos similares a los observados en la Tabla 36, y también, la última especificación estimada que incluye un componente rezagado de la contaminación horaria tiene el más alto R^2 .

La Tabla 39 muestra los resultados asociados al contaminante $MP_{2.5}$. En este caso la variable asociada a la prohibición durante un episodio de emergencia permite reducir las concentraciones entre 30 y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $MP_{2.5}$, mientras que la variable asociada a la prohibición durante un episodio de pre-emergencia permite reducir las concentraciones aproximadamente entre 7 y 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $MP_{2.5}$. Las variables de control utilizadas y R^2 estimados también tienen un comportamiento similar a los reportados en las tablas previas.

Los resultados obtenidos permiten concluir que para mejorar la efectividad de esta política se podría aplicar la misma prohibición durante un día de pre - emergencia respecto a la implementada en un día de emergencia, ya que la prohibición del uso de cualquier artefacto a leña contribuye más a la reducción de las concentraciones en el corto plazo.

Tabla 38. Resultados de evaluación ex - post de prohibición según tipo de episodio crítico del programa GEC sobre las concentraciones horarias de MP₁₀

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
<i>anuncio emergencia</i>	186.1 [1.46e-08]	** 175.0 [1.949]	** 132.9 [0.538]	** 189.4 [3.647]	** 124.8 [6.499]	** 59.29 [1.629]
<i>anuncio pre-emergencia</i>	126.5	** 115.0 [1.970]	** 78.16 [0.278]	** 83.54 [2.553]	** 18.50 [4.913]	** 14.84 [1.163]
<i>prohibición emergencia</i>	-63.63 [0.992]	** -63.59 [1.021]	* -38.33 [4.717]	** -96.41 [5.574]	** -54.12 [0.592]	** -50.70 [1.528]
<i>prohibición pre-emergencia</i>	-39.57 [1.524]	** -39.57 [1.602]	* -21.92 [2.615]	** -28.85 [2.376]	* 26.92 [5.664]	* -10.48 [2.167]
<i>hora 01:00</i>		-13.57 [1.127]	** -13.37 [0.279]	** -13.92 [0.955]	** -15.55 [1.277]	** -5.043 [0.255]
<i>hora 02:00</i>		-25.13 [2.231]	** -23.76 [0.870]	** -24.83 [1.778]	** -28.17 [2.729]	** -6.431 [1.722]
<i>hora 03:00</i>		-34.33 [1.939]	** -33.47 [2.111]	** -35.32 [2.244]	** -39.76 [3.108]	* -6.989 [0.964]
<i>hora 04:00</i>		-41.20 [2.221]	** -40.49 [2.709]	** -42.74 [2.867]	** -48.51 [4.013]	* -6.376 [0.941]
<i>hora 05:00</i>		-44.52 [2.103]	** -44.27 [3.538]	** -47.36 [3.233]	** -54.46 [4.791]	* -5.119 [0.880]
<i>hora 06:00</i>		-33.40 [4.112]	* -34.53 [5.857]	* -39.85 [4.072]	* -48.83 [6.037]	* 0.731 [1.069]
<i>hora 07:00</i>		-25.39 [5.492]	* -24.91 [6.627]	* -30.53 [3.905]	* -38.20 [5.767]	** 7.483 [0.542]
<i>hora 08:00</i>		-19.09 [5.106]	-14.56 [6.293]	-19.98 [3.599]	-23.71 [5.485]	** 10.88 [0.532]
<i>hora 09:00</i>		-18.90 [4.713]	-9.783 [5.128]	-15.29 [3.560]	-13.24 [5.314]	* 7.862 [1.005]
<i>hora 10:00</i>		-21.89 [4.710]	* -8.778 [3.938]	-13.98 [3.953]	-5.622 [5.116]	* 6.879 [1.334]
<i>hora 11:00</i>		-24.91 [4.398]	* -8.803 [3.497]	-14.37 [3.520]	0.170 [3.948]	* 7.323 [0.857]
<i>hora 12:00</i>		-28.28 [4.310]	* -9.470 [2.687]	-15.01 [3.951]	4.611 [3.429]	** 8.558 [0.677]
<i>hora 13:00</i>		-30.78 [4.626]	* -9.822 [2.541]	-15.45 [4.282]	8.111 [3.052]	** 10.15 [0.391]
<i>hora 14:00</i>		-31.25 [5.074]	* -9.111 [2.652]	-14.97 [4.414]	10.91 [2.941]	** 12.39 [0.325]
<i>hora 15:00</i>		-29.45 [5.677]	* -5.382 [2.995]	-11.53 [4.347]	14.51 [3.029]	** 15.65 [0.468]
<i>hora 16:00</i>		-24.80 [6.725]	-0.00807 [3.947]	-6.434 [4.150]	17.41 [3.699]	** 17.92 [0.542]
<i>hora 17:00</i>		-15.49 [7.565]	8.123 [6.667]	0.280 [4.031]	19.53 [4.222]	** 22.74 [1.063]
<i>hora 18:00</i>		-3.026 [8.962]	16.49 [8.862]	9.871 [3.743]	23.73 [3.109]	** 29.81 [2.990]
<i>hora 19:00</i>		12.71 [10.19]	26.65 [8.995]	21.37 [5.232]	29.49 [3.525]	** 28.17 [1.896]
<i>hora 20:00</i>		20.87 [10.19]	30.26 [8.746]	25.96 [6.084]	30.85 [4.376]	** 22.08 [0.586]
<i>hora 21:00</i>		23.36 [8.508]	29.94 [7.421]	25.25 [3.963]	27.89 [2.466]	** 16.92 [0.460]
<i>hora 22:00</i>		17.31 [5.840]	20.48 [5.171]	17.56 [3.090]	19.30 [1.978]	* 9.896 [1.242]
<i>hora 23:00</i>		11.35 [2.937]	12.44 [2.331]	11.29 [1.707]	11.91 [0.893]	* 7.193 [0.894]
<i>viento</i>			-19.52 [0.563]	-19.66 [0.991]	-15.92 [1.918]	* -5.755 [0.819]
<i>precipitaciones</i>				-0.507 [1.081]	-2.653 [0.922]	-0.445 [0.105]
<i>temperatura</i>					-5.239 [1.401]	-0.919 [0.200]
<i>mp10 (t-1)</i>						0.823 [0.0150]
<i>constante</i>	52.27 [0.0338]	** 68.47 [3.934]	** 89.70 [3.553]	** 95.05 [1.981]	* 145.7 [17.77]	* 20.54 [2.421]
<i>Observaciones</i>	116011	116011	93160	77355	71546	70864
<i>R2</i>	0.086	0.146	0.204	0.191	0.244	0.770

Fuente: Elaboración propia. Nota: Errores estándar robustos en los paréntesis. (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Tabla 39. Resultados de evaluación ex - post de prohibición según tipo de episodio crítico del programa GEC sobre las concentraciones horarias de MP_{2,5}

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
<i>anuncio emergencia</i>	178.7	167.1	127.9	153.4	117.9	56.98
		[1.224]	[1.160]	[1.824]	[5.003]	[1.268]
<i>anuncio pre-emergencia</i>	120.8	108.9	72.90	61.76	20.17	13.05
	[1.90e-11]	[1.271]	[0.940]	[1.249]	[3.560]	[0.600]
<i>prohibición emergencia</i>	-55.07	-55.03	-31.14	-58.06	-48.48	-47.35
	[4.609]	[4.628]	[8.184]	[8.757]	[1.690]	[0.810]
<i>prohibición pre-emergencia</i>	-31.34	-31.24	-13.10	-3.427	27.32	-7.167
	[2.224]	[2.219]	[1.457]	[1.226]	[4.870]	[1.596]
<i>hora 01:00</i>		-12.53	-12.23	-12.77	-14.88	-4.795
		[0.776]	[0.647]	[0.601]	[0.973]	[0.656]
<i>hora 02:00</i>		-22.50	-21.17	-22.12	-26.29	-5.585
		[1.419]	[0.973]	[0.981]	[2.066]	[1.396]
<i>hora 03:00</i>		-31.14	-30.24	-31.91	-37.74	-7.234
		[1.278]	[2.176]	[1.657]	[2.701]	[0.604]
<i>hora 04:00</i>		-37.39	-36.66	-38.71	-46.25	-6.855
		[1.807]	[2.639]	[2.512]	[4.010]	[0.917]
<i>hora 05:00</i>		-40.31	-39.95	-42.67	-51.52	-5.233
		[1.568]	[3.208]	[2.442]	[4.237]	[0.201]
<i>hora 06:00</i>		-31.88	-32.77	-37.43	-47.85	-1.646
		[2.943]	[4.885]	[3.259]	[5.390]	[0.730]
<i>hora 07:00</i>		-27.25	-26.79	-31.75	-40.29	3.563
		[4.012]	[5.496]	[3.447]	[5.399]	[1.031]
<i>hora 08:00</i>		-22.55	-18.53	-23.55	-27.51	7.515
		[3.851]	[5.392]	[3.183]	[5.355]	[0.499]
<i>hora 09:00</i>		-22.65	-14.31	-19.39	-16.98	5.929
		[3.621]	[4.982]	[2.841]	[5.258]	[0.349]
<i>hora 10:00</i>		-24.99	-12.84	-17.45	-7.884	6.453
		[3.282]	[3.910]	[2.736]	[5.036]	[0.561]
<i>hora 11:00</i>		-28.29	-13.43	-18.32	-1.679	6.274
		[3.458]	[3.743]	[2.679]	[4.962]	[0.921]
<i>hora 12:00</i>		-31.61	-14.30	-19.25	3.090	7.535
		[3.104]	[3.178]	[2.542]	[4.172]	[0.313]
<i>hora 13:00</i>		-33.91	-14.67	-19.70	7.100	9.546
		[3.261]	[3.192]	[2.568]	[3.690]	[0.486]
<i>hora 14:00</i>		-35.22	-14.78	-20.16	9.340	10.69
		[3.327]	[3.455]	[2.507]	[3.154]	[0.0453]
<i>hora 15:00</i>		-35.07	-12.78	-18.34	11.46	12.81
		[3.394]	[3.731]	[2.466]	[2.844]	[0.149]
<i>hora 16:00</i>		-32.35	-9.314	-15.20	12.07	14.96
		[3.960]	[4.436]	[1.930]	[2.810]	[0.217]
<i>hora 17:00</i>		-24.67	-2.717	-9.704	12.90	19.83
		[5.076]	[5.670]	[2.093]	[3.407]	[0.767]
<i>hora 18:00</i>		-13.72	4.259	-1.723	15.27	26.61
		[6.869]	[7.198]	[2.051]	[2.671]	[2.026]
<i>hora 19:00</i>		3.154	16.10	11.39	22.44	26.98
		[8.307]	[7.185]	[3.316]	[2.783]	[1.437]
<i>hora 20:00</i>		12.31	20.99	17.16	24.39	21.51
		[7.818]	[6.405]	[4.103]	[3.709]	[1.015]
<i>hora 21:00</i>		16.52	22.69	18.47	23.02	16.95
		[6.923]	[6.156]	[3.187]	[2.787]	[0.158]
<i>hora 22:00</i>		13.77	17.20	15.04	18.10	11.28
		[4.098]	[3.662]	[2.171]	[1.915]	[0.685]
<i>hora 23:00</i>		9.337	10.87	10.15	11.86	7.328
		[1.884]	[1.301]	[0.592]	[0.662]	[0.849]
<i>viento</i>			-17.58	-17.87	-13.85	-5.119
			[0.861]	[1.047]	[1.952]	[0.782]
<i>precipitaciones</i>				0.752	-1.583	-0.161
				[0.686]	[0.420]	[0.0294]
<i>temperatura</i>					-6.024	-1.134
					[1.165]	[0.120]
<i>mp25 (t-1)</i>						0.812
						[0.00641]
<i>constante</i>	34.26	53.52	73.16	77.44	136.7	20.60
	[0.0805]	[3.009]	[4.520]	[0.304]	[14.20]	[0.125]
<i>Observaciones</i>	118843	118843	95884	80028	72924	72243
<i>R2</i>	0.104	0.165	0.224	0.211	0.311	0.782

Fuente: Elaboración propia. Nota: Errores estándar robustos en los paréntesis. (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Un resumen de los principales resultados obtenidos y cuadro comparativo con las estimaciones ex – ante utilizadas en el AGIES se presentan en la Tabla 40.

Tabla 40. Resumen de resultados de la evaluación ex - post del programa GEC

Tratamiento	Impacto estimado para Temuco y Padre Las Casas	Robustez de impacto	Valor de impacto recomendado	Intervalo de confianza al 95%	Resultados ex - ante de AGIES para PDA de Temuco y Padre Las Casas
Prohibición durante episodio crítico	Reducción de 30,87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} y de 27,51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ en el modelo con más variables de control que no desagrega por episodio crítico.	Sí	47,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ para episodio de emergencia.	[45,73 ; 48,97] $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ para episodio de emergencia.	Reducción de aproximadamente 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por día de episodio crítico los primeros dos años de implementación del PDA de Temuco y Padre Las Casas. Sin embargo, esta reducción no se incorpora en la proyección del PDA porque se afirma que es impredecible el número de días con episodio crítico (Fuente: MMA, 2014)
	Reducción de 50,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} y de 47,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ en el modelo con más variables de control para un episodio de emergencia.		7,17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ para episodio de pre - emergencia.	[3,98 ; 10,34] $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ para episodio de pre - emergencia.	
	Reducción de 10,48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} y de 7,17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ en el modelo con más variables de control para un episodio de pre - emergencia.				

Fuente: Elaboración propia

7.7.3 EVALUACIÓN EX - POST DEL PROGRAMA DE RECAMBIO DE CALEFACTORES

En el caso de la evaluación ex - post del programa de recambio de calefactores se busca demostrar que el nivel de emisiones de $\text{MP}_{2,5}$, estimado a partir del consumo de leña anual y otros energéticos para calefacción, ha disminuido debido al programa implementado en Temuco y Padre Las Casas. El impacto del programa se estima a partir del cambio en el consumo actual y previo al recambio del calefactor en el caso de los hogares beneficiados con respecto al cambio en el consumo en los hogares que no participaron en el programa, condicionando por características de socioeconómicas de los hogares y las características de las viviendas.

Así, la técnica de diferencias en diferencias se implementa a través de una regresión con datos de panel con efecto fijo para determinar el impacto de realizar un recambio del calefactor en las viviendas beneficiadas, también se determina el efecto específico del tipo de calefactor escogido (pellet, leña certificado o kerosene). Cabe señalar, que esta estrategia de identificación se puede realizar porque se recolectó información de hogares no beneficiados con características similares a los hogares beneficiados, tanto para el periodo actual y previo a la participación en el programa de recambio de calefactores. Adicionalmente, a partir de los mismos datos se utilizan técnicas de *matching* con diferencias en diferencias que comparan a un subconjunto de observaciones del grupo de tratamiento y control que son más parecidas entre sí de acuerdo a sus características observables.

Tabla 41. Resumen de aspectos relacionados con la evaluación ex - post del programa de recambio de calefactores

Variable de resultado	Tratamiento	Estrategia de identificación	Grupos de control	Supuestos asociados
Se puede definir como variable de resultado a las emisiones de MP _{2,5} (kg/año) si se aplican factores de emisión representativos por tipo de artefacto al consumo de leña y otros energéticos. Sin embargo, la variable de resultado también se puede definir como el consumo de leña (kg/año)	Ser beneficiario del programa de recambio de calefactores	Método de diferencias en diferencias y método de <i>matching</i> con diferencias en diferencias	Hogares no beneficiados con el programa de recambio de calefactores o aislamiento térmico pero que se ubican cerca de hogares beneficiados	En el método de diferencias en diferencias se asume que los factores no observables a nivel de hogar permanecen constantes en el tiempo y que los factores no observables entre el grupo de tratamiento y control siguen tendencias similares a través del tiempo. El método de <i>matching</i> asume que la selección solo se basa en características observables, pero al combinarlo con el método de diferencias en diferencias permite controlar por características no observables que permanecen constantes en el tiempo

Fuente: Elaboración propia

Descripción de datos

El tamaño muestral de la encuesta leña y otros combustibles para calefacción residencial, incluye a 391 hogares de las comunas de Temuco y Padre Las Casas. Específicamente, se

escogieron aleatoriamente 130 hogares que obtuvieron del beneficio del programa de recambio de calefactores y 130 hogares fueron seleccionados como grupo de control. Sin embargo, algunos de los 131 hogares que se escogieron aleatoriamente para evaluar el programa de aislamiento térmico, también fueron beneficiados con el programa de recambio de calefactores. En consecuencia, existe un total de 133 hogares que fueron beneficiados con el programa de recambio.

El levantamiento de datos se realizó entre los meses de mayo y julio de 2017, en el cual se recopiló información actual del año 2017 e información retrospectiva del año 2015, obteniéndose un seguimiento a través del tiempo de los hogares antes y después de haber obtenido algún beneficio en el marco de los programas del PDA de Temuco y Padre Las Casas para reducir la contaminación por MP_{2,5}. Cada hogar fue identificado por un único número de folio en ambos periodos, con lo cual se estructuró una base de datos de panel.

Luego de procesar todos los datos se calcularon los consumos energéticos de calefacción para cada tipo de combustible, transformando las diferentes unidades de compra a kilogramos (kg) en el caso de la leña, pellet y gas, a litros (lt) en el caso del kerosene y kilowatts (kw) en el caso de la electricidad. Además, se estimaron las emisiones de MP_{2,5} en kg utilizando para cada energético los factores de emisión reportados en GreenLabUC (2016). A continuación se presenta la estadística descriptiva de estas variables para el año 2015 y 2017.

Tabla 42. Descripción de variables de consumo energético y emisiones en el año 2015 y 2017 para grupo de tratamiento y control del programa de recambio de calefactores

	Variable	Observaciones	Promedio	Desv. Estándar	Mínimo	Máximo
Año 2015	Consumo de leña (kg)	267	2843,1	1996,2	0,0	10860,0
	Consumo de pellet (kg)	267	2,5	31,3	0,0	480,0
	Consumo de gas (kg)	267	7,0	30,2	0,0	270,0
	Consumo de kerosene (lt)	267	7,5	44,2	0,0	420,0
	Consumo de electricidad (kw)	266	0,6	9,2	0,0	150,0
	Emisiones de MP _{2,5} (kg)	267	28,1	27,9	0,0	180,9
Año 2017	Consumo de leña (kg)	266	1509,7	1606,8	0,0	7240,0
	Consumo de pellet (kg)	267	438,9	897,6	0,0	6864,0
	Consumo de gas (kg)	266	6,8	30,0	0,0	270,0
	Consumo de kerosene (lt)	267	54,6	161,9	0,0	1038,0
	Consumo de electricidad (kw)	266	4,1	59,1	0,0	952,0
	Emisiones de MP _{2,5} (kg)	265	12,4	15,7	0,0	103,9

Fuente: Elaboración propia

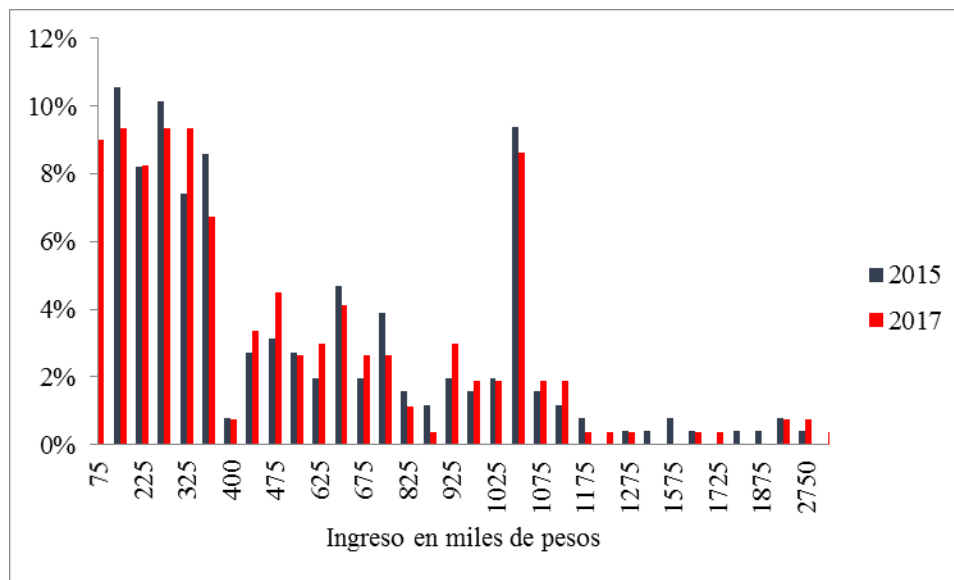
De acuerdo a la Tabla 42 entre ambos periodos se observa que el consumo promedio anual de leña cae desde 2843 kg hasta 1509,7 kg (estos valores incluyen a todos los hogares del grupo de tratamiento y control, independientemente si consumen o no consumen leña, mientras que el valor promedio de consumo de leña en 2015 solo para hogares que sí

consumen leña fue 3230,3 kg). Además, el consumo promedio de pellet se incrementa desde 2,5 kg hasta 438,9 kg, el consumo promedio de gas se reduce desde 7,0 kg hasta 6,8 kg, el consumo promedio de kerosene se incrementa desde 7,5 lt hasta 54,6 lt, el consumo promedio de electricidad se incrementa desde 0,6 kw hasta 4,1 kw, y además, las emisiones de MP_{2,5} promedio anuales se reducen desde 28,1 kg hasta 12,4 kg.

Descripción de variables caracterizadoras

Ingresos: Representa los ingresos líquidos mensuales recibidos por todos los integrantes que componen el grupo familiar. Del total de hogares encuestados, 217 hogares respondieron cuál era su nivel de ingreso en el año 2015 y 231 hogares respondieron cuál era su nivel de ingreso el año 2017. Por otra parte, para 46 hogares adicionales se pudo estimar su ingreso a partir del nivel socioeconómico observado por el encuestador. En la Figura 57 se aprecia que la distribución de ingresos mensuales declarados y estimados es bastante similar entre los años 2015 y 2017. El ingreso líquido promedio en el año 2015 fue \$ 542.969 y en el año 2017 es \$545.599.

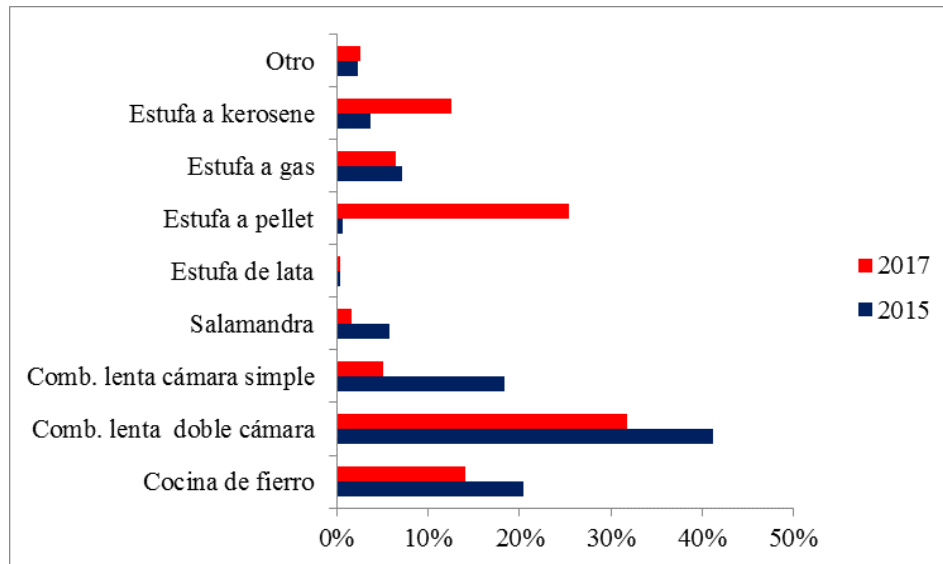
Figura 57. Distribución de ingresos mensuales



Fuente: Elaboración propia

Tipo de equipo: Esta variable permite caracterizar los calefactores según el tipo de combustible utilizado, y además, asociar los factores de emisión para determinar las emisiones de MP_{2,5}. Cada hogar puede declarar más de un equipo de calefacción. En la Figura 58 se observa que la composición del parque de calefactores se renovó bastante entre los años 2015 y 2017, lo cual se explica principalmente por el programa público de recambio de calefactores, y también, por el recambio natural.

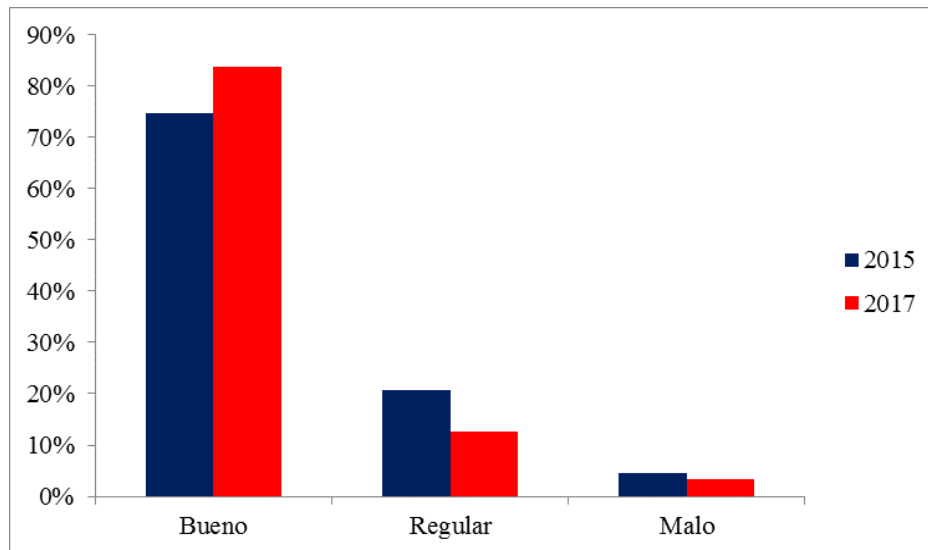
Figura 58. Distribución de equipos de calefacción



Fuente: Elaboración propia

Estado del calefactor: En la Figura 59 se observa que junto con la renovación del parque de calefactores también existe un mejoramiento en el estado de los calefactores utilizados en las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

Figura 59. Distribución estado de los calefactores

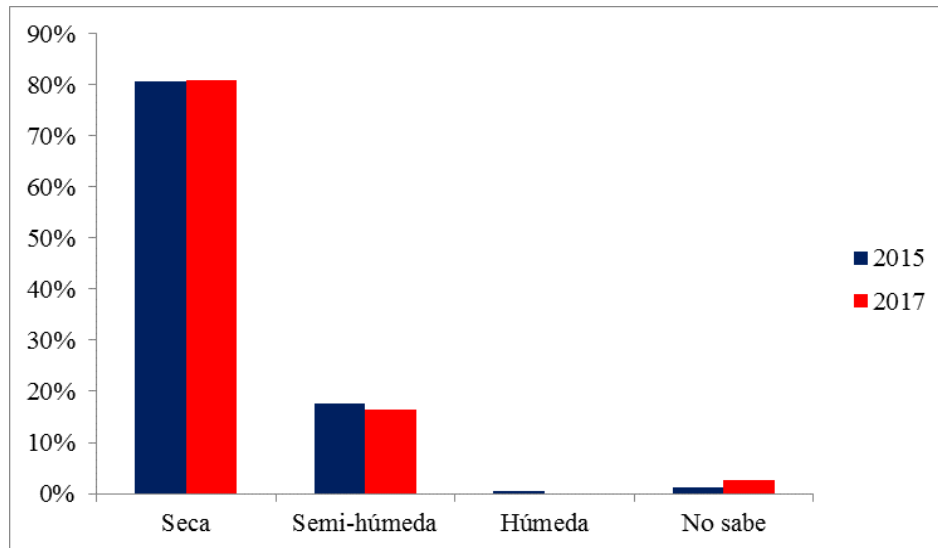


Fuente: Elaboración propia

Humedad de la leña: La humedad de la leña es una variable que incide directamente en las emisiones de los equipos utilizados. Una disminución en la humedad de la leña en los últimos años podría haber reducido las emisiones de MP_{2,5}, pero se observa en la Figura 60 que el nivel de humedad prácticamente no se ha alterado durante el periodo de análisis.

Considerando ambos periodos los hogares encuestados afirman que un 80,8% de la leña está seca, 17,2% semi – húmeda, 0,2% húmeda y 1,7% no sabe.

Figura 60. Distribución de humedad de la leña



Fuente: Elaboración propia

Antes de realizar la evaluación ex – post se hizo un test *t* de comparación de medias para determinar si existe diferencia significativa en el nivel de emisiones entre el grupo de control y tratamiento en el periodo previo al tratamiento. El promedio en el grupo de control es 21,3 kg MP_{2,5} y el promedio en el grupo de tratamiento es 34,9 kg de MP_{2,5}, el valor-p obtenido es de 0,0001 menor a 0,01, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias con un 99% de confianza. Aun cuando el método de diferencias en diferencias no requiere que ambos grupos partan de un promedio igual previo al tratamiento sí asume que en ausencia del tratamiento ambos grupos mantendrán esta misma tendencia a través del tiempo. Por lo cual, la opción de realizar un método de *matching* con diferencias en diferencias permitiría controlar esta situación al comparar solo las unidades más semejantes entre ambos grupos.

También, se realizó el mismo test *t* de comparación de medias entre el grupo de control y tratamiento después del tratamiento. El promedio en el grupo de control es 20,2 kg MP_{2,5} y el promedio en el grupo de tratamiento es 4,8 kg de MP_{2,5}, el valor-p obtenido es de 0,0000 menor a 0,01, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias con un 99% de confianza. Lo anterior, muestra una reducción importante en el promedio de las emisiones en el grupo de tratamiento, pero solo con un test de diferencias de medias no es posible afirmar que esta reducción se pueda atribuir al programa de recambio de calefactores.

Resultados con método de diferencias en diferencias

Cabe recordar que el método diferencias en diferencias compara la diferencia en el efecto promedio para el grupo que es beneficiado por el programa de recambio de calefactores antes y después del tratamiento (grupo de tratamiento), con respecto a la diferencia en el efecto promedio para el grupo que no fue beneficiario de este programa antes y después del tratamiento (grupo de control). La diferencia de los resultados antes y después del grupo de tratamiento o control (primera diferencia) es capaz de eliminar factores no observables que permanecen constantes en el tiempo para dicho grupo, ya que se compara al grupo con sí mismo. La segunda diferencia, al sustraer los resultados antes y después para el grupo de tratamiento con respecto a los resultados antes y después para el grupo de control, permite condicionar por factores no observables individuales y efectos temporales comunes a ambos grupos. Esto permite lograr una mejor estimación del impacto del tratamiento.

Para estimar el impacto del programa sobre las emisiones de MP_{2,5} se genera la siguiente regresión:

$$E_{it} = \alpha + \beta \cdot X_{it} + \tau^{RC}_{DID} \cdot T^{RC}_{it} + u_{it} \quad (18)$$

Donde E_{it} corresponde a las emisiones de MP_{2,5} del hogar i en el periodo t , T^{RC}_{it} es una variable *dummy* igual a 1 si el hogar i es beneficiario del programa de recambio de calefactores en el año t , X_{it} son las variables explicativas o variables de control del hogar i en el periodo t y u_{it} es el término de error de la ecuación. El parámetro que determina el impacto del programa es τ^{RC}_{DID} el cual puede ser calculado como la diferencia del cambio observado antes y después en el grupo de tratamiento y el grupo de control.

En relación a las variables explicativas utilizadas, se incluyeron aquellas variables disponibles cuyo número de observaciones con datos válidos fuera el mayor posible (pocos valores *missing*). Por ejemplo, no se incluyó la humedad de la leña, el precio de los combustibles (que se podía calcular implícitamente al dividir el gasto monetario por el consumo energético), entre otras. Lo anterior, para evitar que el número de observaciones en los modelos estadísticos se redujera demasiado. Tampoco se incluyen variables cuyos valores no se modifiquen a través del tiempo (por ejemplo, tipo de vivienda).

Para evaluar la robustez los resultados se estimaron seis diferentes especificaciones. El primero modelo solo incluye la variable de tratamiento asociada a la participación en el programa de recambio de calefactores, el segundo modelo además incluye como variables de control las características de los equipos como antigüedad y estado del calefactor, en el tercer modelo también se agregan variables que caracterizan al hogar y la vivienda. El cuarto, quinto y sexto modelo son igual que los anteriores pero se desagrega por tipo de calefactor escogido (pellet y kerosene, utilizando como base los calefactores a leña certificados).

La Tabla 43 muestra el impacto del programa de recambio de calefactores sobre el consumo de leña. En el primer modelo se estima una reducción estadísticamente

significativa de 2637 kg, el modelo 2 y modelo 3 estima respectivamente una reducción estadísticamente significativa de 2262 kg y de 2353 kg, y además, se determina que la antigüedad del equipo y el estado del calefactor afectan significativamente el consumo de leña (aunque estos últimos signos son contrarios a los esperados). En los modelos 3, 4 y 5 que desagregan por el tipo de equipo escogido, se observa que el efecto estadísticamente significativo de la antigüedad del equipo se mantiene, pero lo más importante es que el recambio por un nuevo calefactor a leña certificado (caso base) no muestra un efecto negativo y estadísticamente significativo sobre el consumo de leña. El consumo de leña se reduce significativamente solo en el caso que el nuevo equipo sea a kerosene (por ejemplo 3205 kg en el modelo con más variables de control) o pellet (por ejemplo 2071 kg en el modelo con más variables de control). A partir de estos resultados se pueden generar importantes implicancias de política. Primero, el programa de recambio de calefactores es efectivo para reducir de forma importante el consumo de leña, pero se deberían focalizar los recursos solo en los equipos a kerosene o pellet, ya que el recambio a un nuevo calefactor a leña certificado no reduce el consumo de este energético.

La Tabla 44 muestra el impacto del programa de recambio de calefactores sobre las emisiones de $MP_{2.5}$. En este caso se observa un efecto significativo y negativo del programa en todas las especificaciones, por lo cual se concluye que el efecto negativo también es robusto. La única variable de control que es positiva y estadísticamente significativa es la antigüedad del equipo. Sin embargo, resulta extraño que la tipología de equipo escogido para el recambio no tenga un impacto diferenciado y estadísticamente significativo sobre las emisiones de $MP_{2.5}$. Esto se explica porque el factor de emisión y eficiencia utilizados para los nuevos calefactores certificados son menores a los utilizados para los calefactores antiguos, por lo cual bajo este supuesto a los hogares que escogieron este tipo de calefactor se les calcula una emisión menor. Sin embargo, el resultado obtenido en esta evaluación ex – post invita a cuestionarse si la eficiencia de los equipos y/o el factor de emisión que se utiliza oficialmente en el MMA reportado en GreenLabUC (2016) reflejan efectivamente la emisión generada por los nuevos calefactores certificados, ya que la Tabla 43 muestra que no reducen el consumo de leña, y por lo tanto, aun cuando pueden existir mejoras en la eficiencia parecieran no reducir el consumo. Así, aunque la evaluación ex – post no nos dice exactamente qué parte se puede atribuir a eficiencia y que parte a factor de emisión, lo claro es que el recambio a una estufa a leña certificada no reduce el consumo de leña desde un punto de vista estadístico al 95% de confianza. En consecuencia, la reducción de las emisiones independientemente del tipo de calefactor solo se explica porque se asume un factor de emisión bajo para los calefactores de leña certificados que no se valida empíricamente en este estudio (basado en encuestas sobre consumo de leña y no en mediciones de emisiones en cada hogar) y no por una reducción significativa en el consumo de leña.

Tabla 43. Regresiones asociadas al impacto del programa de recambio de calefactores sobre el consumo de leña (kg/año)

	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4		Modelo 5		Modelo 6
<i>Programa recambio</i>	-2637.2 [207.7]	**	-2262.8 [265.5]	**	-2352.8 [304.0]	**	-527.1 [341.1]		-297.6 [331.4]		-466.0 [374.8]
<i>Antigüedad equipo</i>			74.14 [28.52]	**	67.82 [29.82]	*			72.03 [28.14]	*	72.24 [30.50]
<i>Calefactor regular</i>			-1369.6 [485.4]	**	-1382.6 [527.4]	**			-1028.4 [485.1]	*	-1055.4 [542.7]
<i>Calefactor malo</i>			-1259.8 [431.4]	**	-1048.2 [460.1]	*			-684.1 [455.8]		-704.5 [488.7]
<i>N° personas</i>					166.5 [145.6]						64.78 [155.6]
<i>N° personas > 65</i>					67.17 [296.9]						166.2 [262.9]
<i>N° personas < 15</i>					162.9 [259.1]						189.2 [245.2]
<i>M2 vivienda</i>					-37.14 [37.96]						-11.02 [26.81]
<i>Confort térmico</i>					257.3 [265.8]						221.8 [216.8]
<i>Conoce PDA</i>					394.0 [269.4]						386.0 [238.3]
<i>Escolaridad</i>					662.5 [280.1]	*					439.4 [289.1]
<i>Ingreso</i>					-0.000294 [0.000825]						-0.000323 [0.000769]
<i>Elige equipo a kerosene</i>							-3487.9 [564.3]	**	-3339.7 [555.0]	**	-3205.3 [605.2]
<i>Elige equipo a pellet</i>							-2453.6 [414.1]	**	-2191.9 [409.2]	**	-2070.7 [441.1]
<i>Constante</i>	2835.7 [51.83]	**	2557.2 [211.2]	**	-8299.3 [4435.3]		2835.7 [44.81]	***	2479.3 [201.7]	**	-5717.4 [4140.3]
<i>Observaciones</i>	533		522		489		533		522		489
<i>R2</i>	0.476		0.527		0.538		0.575		0.608		0.612

Fuente: Elaboración propia. Nota: Errores estándar en los paréntesis. (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Tabla 44. Regresiones asociadas al impacto del programa de recambio de calefactores sobre las emisiones de MP_{2,5} (kg/año)

	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4		Modelo 5		Modelo 6	
<i>Programa recambio</i>	-30.14	**	-22.42	**	-22.93	**	-24.44	**	-17.56	**	-19.93	**
	[2.818]		[3.568]		[3.955]		[5.081]		[4.631]		[5.248]	
<i>Antigüedad equipo</i>			1.132	**	0.978	*			1.107	**	1.012	*
			[0.384]		[0.397]				[0.366]		[0.395]	
<i>Calefactor regular</i>			-5.913		-5.069				-5.931		-5.591	
			[4.051]		[4.305]				[4.382]		[4.706]	
<i>Calefactor malo</i>			-6.659		-4.719				-6.202		-5.752	
			[5.992]		[6.346]				[6.031]		[6.444]	
<i>N° personas</i>					-0.961						-1.427	
					[1.559]						[1.750]	
<i>N° personas > 65</i>					0.0385						1.213	
					[4.884]						[4.504]	
<i>N° personas < 15</i>					4.559						4.709	
					[3.335]						[3.514]	
<i>M² vivienda</i>					-0.367						-0.191	
					[0.466]						[0.351]	
<i>Confort térmico</i>					5.790						5.241	
					[4.087]						[3.742]	
<i>Conoce PDA</i>					3.985						2.472	
					[2.994]						[2.995]	
<i>Escolaridad</i>					1.149						1.324	
					[2.249]						[2.240]	
<i>Ingreso</i>					0.000000486						0.00000169	
					[0.0000109]						[0.0000106]	
<i>Elige equipo a kerosene</i>							-19.81		-20.02	*	-17.07	
							[10.06]		[9.601]		[10.31]	
<i>Elige equipo a pellet</i>							-2.941		-1.944		1.047	
							[5.956]		[5.608]		[5.841]	
<i>Constante</i>	27.82	**	19.86	**	-20.98		27.82	**	20.07	**	-30.37	
	[0.704]		[3.089]		[44.91]		[0.688]		[2.934]		[42.30]	
<i>Observaciones</i>	532		521		488		532		521		488	
<i>R2</i>	0.433		0.481		0.484		0.458		0.507		0.506	

Fuente: Elaboración propia. Nota: Errores estándar en los paréntesis. (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Resultados con método de *matching* con diferencias en diferencias

Existen diferentes estimadores de *matching*, los cuales difieren en los supuestos necesarios para justificar su aplicación. En términos generales estos se pueden dividir en los estimadores de *matching* con datos de corte transversal (que comparan los resultados para el grupo de tratamiento y grupo de control en algún periodo posterior al tratamiento) y los estimadores de *matching* con diferencias en diferencias (que comparan el cambio en los resultados para el grupo de tratamiento respecto al cambio en los resultados para el grupo de control).

En la presente evaluación ex – post se dispone de datos de panel por lo cual es posible utilizar el estimador de *matching* con diferencias en diferencias. Este estimador fue propuesto por Heckman et al. (1997) el cual usa ponderadores para el *matching* basado en *kernel* que pondera las observaciones de forma diferente de acuerdo al tipo de *kernel* seleccionado. La mayor ventaja de usar este estimador es que permite controlar por diferencias no observables invariables en el tiempo entre las unidades del grupo de tratamiento y control.

Los resultados de los estimadores de *matching* con diferencias en diferencias para evaluar el impacto del programa de recambio de calefactores sobre el consumo de leña son presentados en la Tabla 45. Se reportan cinco tipos de *kernel* para hacer el emparejamiento entre las unidades del grupo de tratamiento y control, y además, con errores estándares normales y errores estándares robustos. A partir de las estimaciones realizadas se puede concluir que el tipo de calefactor escogido es muy importante para la efectividad del programa, ya que si el hogar escoge un equipo a pellet se puede afirmar con un 99% de confianza que la reducción en el consumo de leña varía entre 2900 kg y 3000 kg (el consumo original de los hogares tratados era 3257 kg), si el hogar escoge un equipo a kerosene se puede afirmar con un 99% de confianza que la reducción en el consumo de leña varía entre 3900 kg y 4000 kg (el consumo original de los hogares tratados era 4029 kg), pero si el hogar escoge un nuevo equipo a leña certificado no se observa una reducción estadísticamente significativa entre ambos grupos (el consumo original de los hogares tratados era 2301 kg). Estos resultados son similares a los obtenidos con el método de diferencias en diferencias que fueron presentados previamente.

Los resultados de los estimadores de *matching* con diferencias en diferencias para evaluar el impacto del programa de recambio de calefactores sobre las emisiones de MP_{2,5} son presentados en la Tabla 46. A partir de las diferentes estimaciones se concluye que el programa reduce significativamente las emisiones anuales de este contaminante, la reducción varía entre 28,1 kg y 28,7 kg por hogar. Sin embargo, a partir de los resultados de la Tabla 45 es posible inferir que esta reducción podría ser mayor si es que se focalizan los recursos para el recambio de calefactores a pellet y kerosene que sí reflejan una

reducción significativa e importante en el consumo de leña, ya que los factores de emisión de los calefactores a leña certificados se obtienen bajo condiciones de operación en los laboratorios que puede diferir de las condiciones de operación real, para ejemplificar la variabilidad en los factores de emisión de los calefactores a leña certificados se puede mencionar que existe una desviación estándar de un 30% sobre el valor promedio de las emisiones obtenidas por los 21 equipos a leña con certificación vigente en el SEC. Sin embargo, como en la evaluación ex – post no se midieron las emisiones reales de los nuevos calefactores a leña certificados, y solo se está asumiendo un factor de emisión, no se puede asegurar desde el punto de vista de la evaluación ex – post que la reducción en las emisiones para este tipo de calefactores sea solo atribuible a un supuesto demasiado optimista sobre las emisiones de los nuevos calefactores a leña certificados.

Tabla 45. Estimadores de *matching* con diferencias en diferencias para determinar el impacto del programa de recambio de calefactores sobre el consumo de leña (kg/año)

Tipo de kernel	Equipo	Diff-in-Diff	Desv. estándar	t estadístico	valor-p
kernel epanechnikov	pellet	-3,00E+03	356,425	-8,28	0,000**
kernel epanechnikov (robusto)	pellet	-3,00E+03	429,173	-6,87	0,000**
kernel gaussiano	pellet	-2,90E+03	354,111	-8,21	0,000**
kernel gaussiano (robusto)	pellet	-2,90E+03	434,54	-6,69	0,000**
kernel biweight	pellet	-3,00E+03	354,664	-8,37	0,000**
kernel biweight (robusto)	pellet	-3,00E+03	433,369	-6,85	0,000**
kernel uniforme	pellet	-2,90E+03	358,296	-8,18	0,000**
kernel uniforme (robusto)	pellet	-2,90E+03	427,594	-6,86	0,000**
kernel tricube	pellet	-2,90E+03	358,107	-8,2	0,000**
kernel tricube (robusto)	pellet	-2,90E+03	428,066	-6,86	0,000**
kernel epanechnikov	kerosene	-3,90E+03	409,015	-9,62	0,000**
kernel epanechnikov (robusto)	kerosene	-3,90E+03	588,583	-6,68	0,000**
kernel gaussiano	kerosene	-3,90E+03	403,66	-9,76	0,000**
kernel gaussiano (robusto)	kerosene	-3,90E+03	576,665	-6,83	0,000**
kernel biweight	kerosene	-3,90E+03	410,7	-9,56	0,000**
kernel biweight (robusto)	kerosene	-3,90E+03	597,967	-6,57	0,000**
kernel uniforme	kerosene	-4,00E+03	406,328	-9,73	0,000**
kernel uniforme (robusto)	kerosene	-4,00E+03	573,308	-6,9	0,000**
kernel tricube	kerosene	-3,90E+03	406,931	-9,69	0,000**
kernel tricube (robusto)	kerosene	-3,90E+03	577,238	-6,83	0,000**
kernel epanechnikov	leña	143,006	351,953	0,41	0,685
kernel epanechnikov (robusto)	leña	143,006	501,702	0,29	0,776
kernel gaussiano	leña	52,451	342,344	0,15	0,878
kernel gaussiano (robusto)	leña	52,451	450,674	0,12	0,907
kernel biweight	leña	179,401	353,234	0,51	0,612
kernel biweight (robusto)	leña	179,401	512,276	0,35	0,726
kernel uniforme	leña	92,317	348,998	0,26	0,792
kernel uniforme (robusto)	leña	92,317	481,942	0,19	0,848
kernel tricube	leña	112,306	350,22	0,32	0,749
kernel tricube (robusto)	leña	112,306	490,304	0,23	0,819

Fuente: Elaboración propia. Nota: (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Tabla 46. Estimadores de *matching* con diferencias en diferencias para determinar el impacto del programa de recambio de calefactores sobre las emisiones de MP_{2,5} (kg/año)

Tipo de kernel	Diff-in-Diff	Desv. Estándar	t estadístico	valor-p
kernel epanechnikov	-28,552	4,172	-6,84	0,000**
kernel epanechnikov (robusto)	-28,552	4,874	-5,86	0,000**
kernel gaussiano	-28,347	4,073	-6,96	0,000**
kernel gaussiano (robusto)	-28,347	4,663	-6,08	0,000**
kernel biweight	-28,692	4,177	-6,87	0,000**
kernel biweight (robusto)	-28,692	4,914	-5,84	0,000**
kernel uniforme	-28,138	4,155	-6,77	0,000**
kernel uniforme (robusto)	-28,138	4,772	-5,90	0,000**
kernel tricube	-28,300	4,159	-6,80	0,000**
kernel tricube (robusto)	-28,300	4,801	-5,89	0,000**

Fuente: Elaboración propia. Nota: (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Un resumen de los principales resultados obtenidos y cuadro comparativo con las estimaciones ex – ante utilizadas en el AGIES se presentan en la Tabla 47.

Tabla 47. Resumen de resultados de la evaluación ex - post del programa de recambio de calefactores

Tratamiento	Impacto estimado para Temuco y Padre Las Casas	Robustez de impacto	Valor de impacto recomendado	Intervalo de confianza al 95%	Resultados ex - ante de AGIES para PDA de Temuco y Padre Las Casas
Recambio de calefactores	Con el método de <i>matching</i> con diferencias en diferencias el consumo de leña se reduce solo para el recambio a equipos a pellet (entre 2900 y 3000 kg/año) y kerosene (entre 3900 y 4000 kg/año) pero no para los calefactores a leña certificados (0 kg/año), Se estima una reducción entre 28,1 y 28,7 kg/año de MP _{2,5} indiferenciado por tipo de equipo ³³ .	Sí	Entre 28,1 y 28,7 kg/año de MP _{2,5} por recambio de equipo.	[18,5 ; 38,5] kg/año de MP _{2,5} por recambio de equipo.	Reducción de 153 kg/año de MP _{2,5} para estufa a leña certificada, 166 kg/año de MP _{2,5} para estufa a pellet y 169 kg/año de MP _{2,5} para estufa a kerosene (Fuente: GreenLabUC, 2013)

Fuente: Elaboración propia

³³ Esta aparente contradicción entre impacto de emisiones y consumo de leña, se explica por los supuestos de eficiencia y/o factor de emisión para los nuevos calefactores certificados que son utilizados por el MMA.

7.7.4 EVALUACIÓN EX - POST DEL PROGRAMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO

En el caso de la evaluación ex - post del programa de aislamiento térmico de viviendas se busca demostrar que el nivel de emisiones de $MP_{2,5}$, estimado a partir del consumo de leña anual y otros energéticos para calefacción, ha disminuido debido al programa implementado en Temuco y Padre Las Casas. El impacto del programa se estima a partir del cambio en el periodo actual y previo al mejoramiento térmico en las viviendas beneficiadas respecto al cambio en ambos periodos para las viviendas que no participaron en el programa, condicionando por características socioeconómicas de los hogares y las características de las viviendas.

Así, la técnica de diferencias en diferencias se implementa a través de una regresión con datos de panel con efecto fijo para determinar el impacto del aislamiento térmico en las viviendas beneficiadas. Cabe señalar, que esta estrategia de identificación se puede realizar porque se recolectó información de hogares no beneficiados con características similares a los hogares beneficiados, tanto para el periodo actual como previo a la participación en el programa de aislamiento térmico. Adicionalmente, a partir de los mismos datos se utilizan técnicas de *matching* con diferencias en diferencias que escogen un subconjunto de observaciones del grupo de tratamiento y control que son parecidas de acuerdo a sus características observables.

Tabla 48. Resumen de aspectos relacionados con la evaluación ex - post del programa de aislamiento térmico

Variable de resultado	Tratamiento	Estrategia de identificación	Grupos de control	Supuestos asociados
Se puede definir como variable de resultado a las emisiones de MP _{2,5} (kg/año) al aplicar factores de emisión representativos por tipo de artefacto al consumo de leña y otros energéticos. Sin embargo, la variable de resultado también se puede definir como el consumo de leña (kg/año)	Ser beneficiario de programa de aislamiento térmico	Método de diferencias en diferencias y método de <i>matching</i> con diferencias en diferencias	Hogares no beneficiados con el programa de recambio de calefactores o aislamiento térmico pero que se ubican cerca de hogares beneficiados	En el método de diferencias en diferencias se asume que los factores no observables a nivel de hogar permanecen constantes en el tiempo y que los factores no observables entre el grupo de tratamiento y control siguen tendencias similares a través del tiempo. El método de <i>matching</i> asume que la selección solo se basa en características observables, pero al combinarlo con el método de diferencias en diferencias permite controlar por características no observables que permanecen constantes en el tiempo

Fuente: Elaboración propia

Descripción de datos

Tal como se mencionó previamente el tamaño muestral de la encuesta leña y otros combustibles para calefacción residencial incluye información de 131 hogares que obtuvieron el beneficio del programa de aislamiento térmico y 130 hogares fueron seleccionados como grupo de control (el mismo grupo de control utilizado para evaluar el programa de recambio de calefactores). Sin embargo, algunos de los 130 hogares que se escogieron aleatoriamente para evaluar el programa de recambio de calefactores, también fueron beneficiados con el programa de aislamiento térmico. En consecuencia, se utiliza un total de 156 hogares que fueron beneficiados con el programa de aislamiento térmico. Los

datos utilizados tienen una estructura de panel que incluye información de los hogares para el año 2017 e información retrospectiva para el año 2015.

En la Tabla 49 se reportan los consumos energéticos anuales para calefacción por tipo de combustible, y además, las emisiones de MP_{2,5} asociadas al uso de estos energéticos a partir de los factores de emisión reportados en GreenLabUC (2016).

Tabla 49. Descripción de variables de consumo energético y emisiones en el año 2015 y 2017 para grupo de tratamiento y control del programa de aislamiento térmico

	Variable	Observaciones	Promedio	Desv. Estándar	Mínimo	Máximo
Año 2015	Consumo de leña (kg)	290	2628,7	1851,0	0,0	11364,0
	Consumo de pellet (kg)	290	0,0	0,0	0,0	0,0
	Consumo de gas (kg)	290	7,3	30,8	0,0	270,0
	Consumo de kerosene (lt)	290	7,5	40,7	0,0	420,0
	Consumo de electricidad (kw)	287	4,3	64,9	0,0	1090,0
	Emisiones de MP _{2,5} (kg)	290	24,7	24,2	0,0	180,9
Año 2017	Consumo de leña (kg)	289	2319,5	1652,0	0,0	11364,0
	Consumo de pellet (kg)	290	99,7	440,6	0,0	3744,0
	Consumo de gas (kg)	289	7,6	31,3	0,0	270,0
	Consumo de kerosene (lt)	290	23,2	102,8	0,0	800,0
	Consumo de electricidad (kw)	287	7,6	85,7	0,0	1090,0
	Emisiones de MP _{2,5} (kg)	288	19,9	18,2	0,0	103,9

Fuente: Elaboración propia

Los datos muestran que existe una reducción en el consumo promedio de leña del año 2017 respecto al consumo promedio del año 2015 pero la diferencia es solo de 309,2 kg entre ambos periodos, bastante menor respecto a lo observado para el programa de recambio de calefactores (el valor promedio de consumo de leña es 2628,7 kg para el año 2015, que incluye a todos los hogares independientemente si consumen o no consumen leña, mientras que el valor promedio del año 2015 solo para los hogares que consumen leña es 3001 kg). También se observa que el consumo promedio de pellet se incrementa desde 0 kg hasta 99,7 kg, el consumo promedio de gas se incrementa desde 7,3 kg hasta 7,6 kg, el consumo promedio de kerosene se incrementa desde 7,5 lt hasta 23,2 lt, el consumo promedio de electricidad se incrementa desde 4,3 kw hasta 7,6 kw, y además, las emisiones de MP_{2,5} anuales promedio se reducen desde 24,7 kg hasta 19,9 kg. Cabe señalar que los cambios en los patrones de uso de combustibles diferentes a la leña probablemente están influenciado porque algunos hogares que obtuvieron el beneficio del programa de aislamiento térmico también fueron beneficiados con el programa de recambio de calefactores.

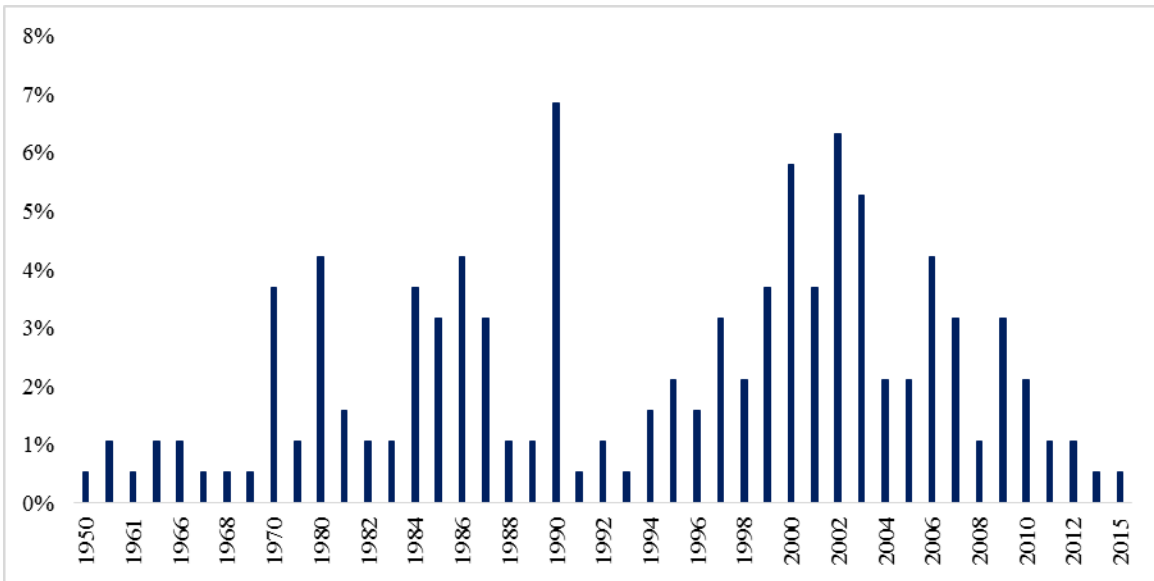
Descripción de variables caracterizadoras

Aun cuando en la encuesta aplicada para la realización de este estudio incluyó diversas preguntas para caracterizar las viviendas, las tasas de respuesta a estas preguntas fue

relativamente baja lo cual impide incluirlas en las estimaciones. No obstante, se incluyen a continuación algunas figuras de estas variables para tener una visión general de la muestra utilizada.

El año de construcción de la vivienda solo está reportada en un 46,2% de la muestra, pero permite observar que existe una heterogeneidad importante en los años de construcción (ver Figura 61).

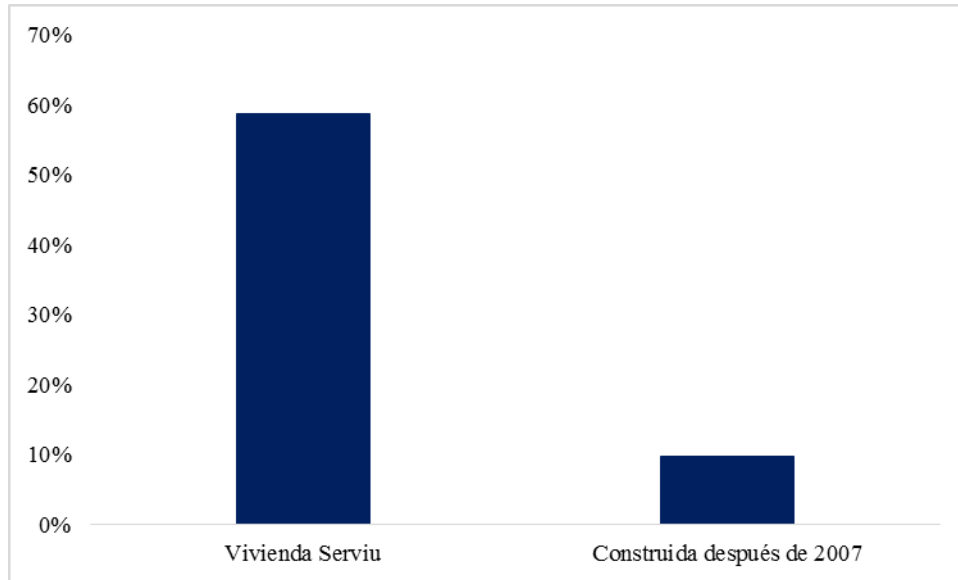
Figura 61. Distribución del año de construcción de las viviendas



Fuente: Elaboración propia

Además, el 58,8% de las viviendas fueron construidas por el SERVIU y el 9,7% fueron construidas después del año 2007, periodo en el cual existió una mejora en el estándar de aislación (ver Figura 62).

Figura 62. Distribución de viviendas tipo SERVIU y construcción posterior al 2007

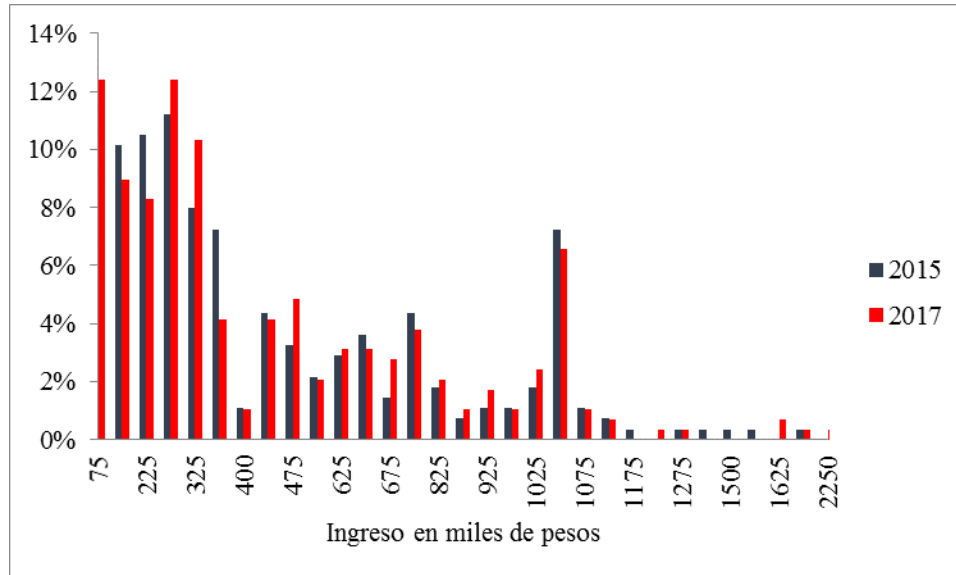


Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestran algunas variables que si fueron incluidas en las estimaciones para evaluar el impacto del programa.

Ingresos: En la Figura 63 se observa que los ingresos líquidos mensuales recibidos por los beneficiarios del programa de aislación son bastante similares respecto a los ingresos del grupo de control, y además, son bastante similares a los beneficiarios del programa de recambio de calefactores reportados en la Figura 57. El ingreso líquido promedio en el año 2015 fue \$ 456.522 y en el año 2017 es \$467.931.

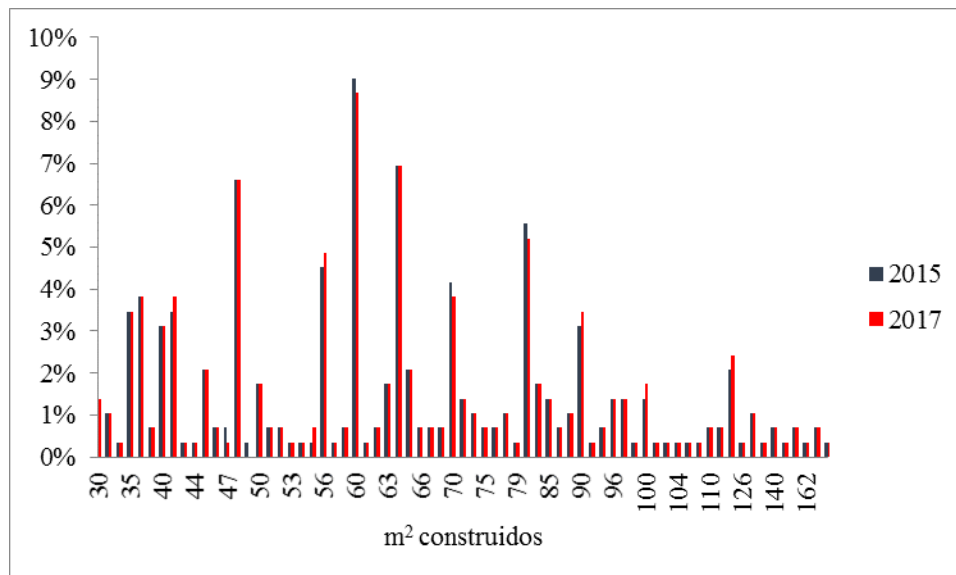
Figura 63. Distribución de ingresos



Fuente: Elaboración propia

Metros cuadrados construidos: Esta variable permite caracterizar el espacio que debe ser calefaccionado aproximadamente en cada vivienda. En la Figura 64 se observa que existe bastante heterogeneidad en la superficie de las viviendas, y además, que en el periodo de tiempo considerado los m² construidos no cambiaron mucho, pero esta pequeña variabilidad permite incluirla como variable explicativa en los modelos estadísticos.

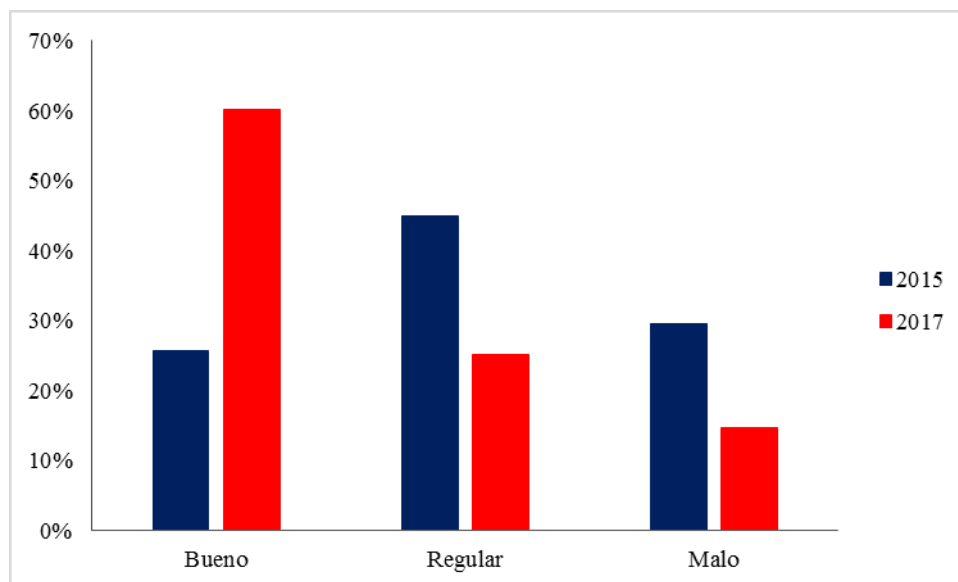
Figura 64. Distribución de metros cuadrados construidos



Fuente: Elaboración propia

Confort térmico: Se observa una importante mejora en el confort térmico de las viviendas en el año 2017 (ver Figura 65), lo cual contrasta con la relativamente baja reducción en el consumo de leña.

Figura 65. Distribución de percepción de confort térmico



Fuente: Elaboración propia

Antes de realizar la evaluación ex – post se hizo un test t de comparación de medias para determinar si existe diferencia significativa en el nivel de emisiones entre el grupo de control y tratamiento en el periodo previo al tratamiento, concluyendo que en el año 2015 el promedio en el grupo de control es 21,3 kg de $MP_{2,5}$ y el promedio en el grupo de tratamiento es 27,6 kg de $MP_{2,5}$, el valor-p obtenido es de 0,0257 menor a 0,05, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias con un 95% de confianza. Esta diferencia observada en ambos grupos previo al tratamiento no afecta la evaluación ex – post, ya que el método de diferencias en diferencias y método de *matching* con diferencias en diferencias permiten controlar esta situación bajo el supuesto que estas diferencias siguen la misma tendencia a través del tiempo.

También, se realizó el mismo test t de comparación de medias entre el grupo de control y tratamiento después del tratamiento, concluyendo que en año el 2017 el promedio en el grupo de control es 20,2 kg $MP_{2,5}$ y el promedio en el grupo de tratamiento es 19,7 kg de $MP_{2,5}$, el valor-p obtenido es de 0,8227 mayor a 0,05, por lo cual no se puede rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias con un 95% de confianza.

Resultados con método de diferencias en diferencias

Para estimar el impacto del programa de aislación sobre las emisiones de $MP_{2,5}$ se genera la siguiente regresión:

$$E_{it} = \alpha + \beta \cdot X_{it} + \tau^{AT}_{DID} \cdot T^{AT}_{it} + u_{it} \quad (19)$$

Donde E_{it} corresponde a las emisiones de $MP_{2,5}$ del hogar i en el periodo t , T^{AT}_{it} es una variable *dummy* igual a 1 si el hogar i es beneficiario del programa de aislamiento térmico en el año t , X_{it} son las variables explicativas o variables de control del hogar i en el periodo t y u_{it} es el término de error. El parámetro que determina el impacto del programa es τ^{AT}_{DID} el cual puede ser calculado como la diferencia del cambio observado antes y después en el grupo de tratamiento y el grupo de control.

En relación a las variables explicativas utilizadas, se incluyeron aquellas variables disponibles cuyo número de observaciones con datos válidos fuera el mayor posible (pocos valores *missing*). Por ejemplo, no se incluyó el año de construcción de la vivienda, la humedad de la leña, el precio de los combustibles (que se podía calcular implícitamente al dividir el gasto monetario por el consumo energético), entre otras. Lo anterior, para evitar que el número de observaciones en los modelos estadísticos se redujera demasiado.

Para evaluar la robustez los resultados se estimaron cuatro diferentes especificaciones. El primer modelo solo incluye la variable de tratamiento asociada a la participación en el programa de aislamiento térmico, el segundo modelo además incluye como variables de control las características de los equipos como antigüedad y estado del calefactor, en el tercer modelo también se agregan variables que caracterizan al hogar y la vivienda, y finalmente, en el cuarto modelo se incluye el tipo de calefactor más utilizado en la vivienda. Cabe mencionar que algunas variables como si la vivienda es tipo SERVIU, año de construcción de la vivienda o si la vivienda fue construida después del año 2007 no pueden ser incluidas porque su tasa de respuesta fue baja y/o porque no cambian a través de los dos periodos de tiempo que es una condición necesaria para la estimación con el método de diferencias en diferencias.

La Tabla 50 muestra el impacto del programa de aislación térmica sobre el consumo de leña. Solamente en el primer y segundo modelo se estima una reducción estadísticamente significativa de 546 kg y 417 kg, respectivamente. Sin embargo, este resultado no es robusto cuando se incluyen variables de control del grupo familiar, vivienda y tipo de calefactor más utilizado. Además, en el modelo 4 que incluye los tipos de equipos más utilizados, se observa que aquellos hogares que utilizan calefactores a pellet, gas y kerosene reducen significativamente su consumo de leña, ya sea porque se generó un recambio con recursos privados o apoyado por un programa público de recambio. En el mismo modelo 4 otras variables resultan significativas con un efecto positivo como el número de integrantes del hogar y la percepción de confort térmico, o bien, con un efecto negativo el nivel de ingreso, pero estas variables no fueron significativas en el modelo 3. A partir de estos resultados se puede concluir que el programa de aislación térmica no es efectivo para reducir el consumo de leña y que la reducción observada inicialmente (en los primeros dos modelos) se puede atribuir más bien a un recambio hacia calefactores que utilizan otros combustibles diferentes a la leña.

La Tabla 51 muestra el impacto del programa de aislación sobre las emisiones de $MP_{2,5}$. Los resultados son muy similares a los reportados en la Tabla 50, ya que en el primer y segundo modelo se estima un impacto negativo y estadísticamente significativo sobre las emisiones de $MP_{2,5}$, pero este efecto no es robusto ya que desaparece cuando se controla por variables caracterizadoras del hogar, vivienda y/o equipo de calefactor. En el modelo 4 se observa que las emisiones son significativamente más altas en los hogares que poseen un equipo a leña de doble cámara, mientras que las emisiones son significativamente más bajas en los hogares que poseen un calefactor a pellet, gas o kerosene.

Tabla 50. Regresiones asociadas al impacto del programa de recambio de aislamiento térmico sobre el consumo de leña (kg/año)

	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4
<i>Programa aislación</i>	-546,300	**	-417,000	**	-191,000		224,900
	[144,9]		[118,8]		[202,8]		[151,0]
<i>Antigüedad equipo</i>			84,350	**	84,830	*	28,900
			[31,62]		[33,21]		[27,92]
<i>Calefactor regular</i>			-610,800		-623,600		-226,500
			[449,0]		[455,7]		[342,8]
<i>Calefactor malo</i>			-1046,300	**	-870,400	*	50,130
			[391,9]		[384,2]		[310,2]
<i>Nº personas</i>					204,500		198,300
					[128,9]		[82,48]
<i>Nº personas > 65</i>					-52,400		-112,200
					[269,5]		[189,1]
<i>Nº personas < 15</i>					-311,100		-127,400
					[191,4]		[134,3]
<i>M2 vivienda</i>					11,520		-15,770
					[14,63]		[13,38]
<i>Confort térmico</i>					307,600		289,200
					[167,7]		[116,6]
<i>Conoce PDA</i>					391,200		228,800
					[224,2]		[156,2]
<i>Escolaridad</i>					245,900		-42,120
					[254,8]		[184,3]
<i>Ingreso</i>					-0,001		-0,002
					[0,000919]		[0,000549]
<i>Comb. lenta doble cámara</i>							-247,900
							[468,2]
<i>Comb. lenta cámara simple</i>							893,800
							[681,3]
<i>Salamandra</i>							-1165,200
							[663,5]
<i>Estufa a pellet</i>							-2736,500
							[564,6]
<i>Estufa a gas</i>							-3341,700
							[979,6]
<i>Estufa a kerosene</i>							-3810,700
							[886,1]
<i>Constante</i>	2621,500	**	2078,400	**	-2909,900		4093,100
	[39,05]		[217,8]		[3236,2]		[1941,7]
<i>Observaciones</i>	579,000		569,000		535,000		535,000
<i>R2</i>	0,057		0,151		0,178		0,546

Fuente: Elaboración propia. Nota: Errores estándar en los paréntesis. (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Tabla 51. Regresiones asociadas al impacto del programa de aislamiento térmico sobre las emisiones de MP_{2,5} (kg/año)

	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4	
<i>Programa aislación</i>	-7,890 [1,988]	**	-6,103 [1,515]	**	-4,044 [2,361]		1,319 [1,475]	
<i>Antigüedad equipo</i>			1,225 [0,433]	**	1,202 [0,466]	*	0,406 [0,301]	
<i>Calefactor regular</i>			-5,079 [2,993]		-5,283 [2,852]		-0,444 [1,787]	
<i>Calefactor malo</i>			-8,981 [4,999]		-7,775 [4,994]		1,216 [2,681]	
<i>Nº personas</i>					0,763 [0,938]		0,451 [0,765]	
<i>Nº personas > 65</i>					-2,979 [4,065]		-3,330 [3,274]	
<i>Nº personas < 15</i>					-1,473 [1,801]		0,009 [1,613]	
<i>M2 vivienda</i>					0,056 [0,136]		-0,119 [0,0790]	
<i>Confort térmico</i>					2,434 [2,008]		2,172 [1,222]	
<i>Conoce PDA</i>					0,629 [2,586]		1,076 [1,693]	
<i>Escolaridad</i>					1,392 [1,709]		-1,527 [1,023]	
<i>Ingreso</i>					-2,86E-06 [0,00000848]		-1,05E-05 [0,00000437]	*
<i>Comb. lenta doble cámara</i>							-6,540 [4,436]	
<i>Comb. lenta cámara simple</i>							38,900 [7,115]	**
<i>Salamandra</i>							8,092 [8,824]	
<i>Estufa a pellet</i>							-15,370 [6,588]	*
<i>Estufa a gas</i>							-23,330 [3,667]	**
<i>Estufa a kerosene</i>							-26,540 [8,002]	**
<i>Constante</i>	24,440 [0,537]	**	15,600 [3,108]	**	-20,310 [25,59]		44,740 [14,45]	**
<i>Observaciones</i>	578		568		534		504	
<i>R2</i>	0,078		0,196		0,195		0,656	

Fuente: Elaboración propia. Nota: Errores estándar en los paréntesis. (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Resultados con método de *matching* con diferencias en diferencias

Los resultados de los estimadores de *matching* con diferencias en diferencias para evaluar el impacto del programa de aislamiento térmico sobre el consumo de leña y las emisiones de MP_{2,5} son presentados en la Tabla 52 y Tabla 53, respectivamente. Se reportan cinco tipos de *kernel* para hacer el emparejamiento entre las unidades del grupo de tratamiento y control, las estimaciones se calculan con errores estándares normales y errores estándares robustos, y además, se realiza una selección en base a variables observables que incluyen o no los tipos de equipo que poseen los hogares. A partir de las estimaciones realizadas se puede concluir con un 95% de confianza que el programa de aislamiento térmico no genera un impacto sobre el consumo de leña ni sobre las emisiones de MP_{2,5}. Este resultado pareciera ser algo extraño porque mejorar el aislamiento térmico debiese implicar un menor requerimiento energético, lo cual efectivamente se observa en los resultados de la Tabla 52 con reducciones promedio entre 377 kg/año y 483 kg/año por vivienda aislada en cada estimación de *matching* con diferencias en diferencias, pero la alta variabilidad en la reducción de cada hogar reflejada en la desviación estándar es la que impide afirmar que la reducción en el consumo de leña por participar en el programa de aislamiento es diferente cero con un 95% de confianza. La alta variabilidad en la reducción de consumo de leña por hogar se podría explicar de modo intuitivo porque los hogares después del mejoramiento en la vivienda prefieren incrementar su confort térmico sin reducir demasiado su gasto en leña, fugas de calor por la apertura de puertas debido a la composición o rutina diaria del grupo familiar, razones culturales pueden provocar que se regule el nivel de calefacción abriendo puertas o ventanas en vez de reducir el consumo, entre otros factores. Independientemente de las posibles explicaciones, esta evaluación ex – post muestra que los recursos destinados a este programa deberían reasignarse al programa de recambio de calefactores para generar mejoras efectivas en términos medioambientales.

Tabla 52. Estimadores de *matching* con diferencias en diferencias para determinar el impacto del programa de aislación térmica sobre el consumo de leña (kg/año)

Tipo de kernel	Equipo	Diff-in-Diff	Desv. estándar	t estadístico	valor-p
kernel epanechnikov	Sin equipos	-466,931	298,893	1,56	0,119
kernel epanechnikov (robusto)	Sin equipos	-466,931	321,826	1,45	0,147
kernel gaussiano	Sin equipos	-457,619	297,443	1,54	0,124
kernel gaussiano (robusto)	Sin equipos	-457,619	312,775	1,46	0,144
kernel biweight	Sin equipos	-459,123	299,151	1,53	0,125
kernel biweight (robusto)	Sin equipos	-459,123	323,490	1,42	0,156
kernel uniforme	Sin equipos	-483,366	298,170	1,62	0,106
kernel uniforme (robusto)	Sin equipos	-483,366	319,521	1,51	0,131
kernel tricube	Sin equipos	-477,296	298,501	1,60	0,110
kernel tricube (robusto)	Sin equipos	-477,296	319,980	1,49	0,136
kernel epanechnikov	Con equipos	-377,993	294,748	1,28	0,200
kernel epanechnikov (robusto)	Con equipos	-377,993	336,423	1,12	0,262
kernel gaussiano	Con equipos	-381,914	294,075	1,30	0,195
kernel gaussiano (robusto)	Con equipos	-381,914	325,212	1,17	0,241
kernel biweight	Con equipos	-378,688	294,472	1,29	0,199
kernel biweight (robusto)	Con equipos	-378,688	338,546	1,12	0,264
kernel uniforme	Con equipos	-380,042	295,889	1,28	0,200
kernel uniforme (robusto)	Con equipos	-380,042	338,787	1,12	0,262
kernel tricube	Con equipos	-378,097	295,306	1,28	0,201
kernel tricube (robusto)	Con equipos	-378,097	336,002	1,13	0,261

Fuente: Elaboración propia. Nota: (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Tabla 53. Estimadores de *matching* con diferencias en diferencias para determinar el impacto del programa de aislación térmica sobre las emisiones de MP_{2,5} (kg/año)

Tipo de kernel	Equipo	Diff-in-Diff	Desv. estándar	t estadístico	valor-p
kernel epanechnikov	Sin equipos	-6,059	3,643	1,66	0,097
kernel epanechnikov (robusto)	Sin equipos	-6,059	3,825	1,58	0,114
kernel gaussiano	Sin equipos	-5,712	3,636	1,57	0,117
kernel gaussiano (robusto)	Sin equipos	-5,712	3,772	1,51	0,130
kernel biweight	Sin equipos	-6,027	3,642	1,66	0,098
kernel biweight (robusto)	Sin equipos	-6,027	3,841	1,57	0,117
kernel uniforme	Sin equipos	-6,092	3,657	1,67	0,096
kernel uniforme (robusto)	Sin equipos	-6,092	3,851	1,58	0,114
kernel tricube	Sin equipos	-6,094	3,649	1,67	0,095
kernel tricube (robusto)	Sin equipos	-6,094	3,824	1,59	0,112
kernel epanechnikov	Con equipos	-5,272	3,846	1,37	0,171
kernel epanechnikov (robusto)	Con equipos	-5,272	4,650	1,13	0,257
kernel gaussiano	Con equipos	-5,376	3,840	1,40	0,162
kernel gaussiano (robusto)	Con equipos	-5,376	4,534	1,19	0,236
kernel biweight	Con equipos	-5,207	3,852	1,35	0,177
kernel biweight (robusto)	Con equipos	-5,207	4,714	1,10	0,270
kernel uniforme	Con equipos	-5,315	3,847	1,38	0,168
kernel uniforme (robusto)	Con equipos	-5,315	4,599	1,16	0,248
kernel tricube	Con equipos	-5,307	3,840	1,38	0,168
kernel tricube (robusto)	Con equipos	-5,307	4,590	1,16	0,248

Fuente: Elaboración propia. Nota: (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Un resumen de los principales resultados obtenidos y cuadro comparativo con las estimaciones ex – antes utilizadas en el AGIES se presentan en la Tabla 54.

Tabla 54. Resumen de resultados de la evaluación ex - post del programa de recambio de aislamiento térmico

Tratamiento	Impacto estimado para Temuco y Padre Las Casas	Robustez de impacto	Valor de impacto recomendado	Intervalo de confianza al 95%	Resultados ex - ante de AGIES para PDA de Temuco y Padre Las Casas
Aislamiento térmico	Se estima una reducción de 0 kg/año de consumo de leña y 0 kg/año de emisiones de MP _{2,5}	Sí	0 kg/año de MP _{2,5} por vivienda aislada	[-13,8 ; 1,6] kg/año de MP _{2,5} por vivienda aislada.	Reducción desde 20 kg/año hasta 57 kg/año de MP _{2,5} dependiendo del tipo de vivienda y mejoramiento térmico realizado (Fuente: GreenLabUC, 2013)

Fuente: Elaboración propia

7.7.5 EVALUACIÓN EX - POST CONJUNTA DEL PROGRAMA DE RECAMBIO DE CALEFACTORES Y PROGRAMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO

Finalmente, para complementar los resultados previos se presenta una evaluación ex – post conjunta del programa de recambio de calefactores y mejoramiento térmico de viviendas. Esta evaluación es posible ya que aun cuando se encuestaron 130 hogares del listado de beneficiarios del programa de recambio de calefactores y 131 hogares del programa de aislamiento térmico, se pudo establecer que 32 de los hogares encuestados fueron beneficiados por ambos programas.

En la Tabla 55 se reportan los consumos energéticos anuales para calefacción por tipo de combustible, y además, las emisiones de MP_{2,5} para el año 2015 y 2017.

Los datos muestran que el consumo promedio de leña del año 2017 alcanza los 1875,1 kg el cual es bastante menor al consumo promedio del año 2015 que alcanza los 2799 kg (estos valores incluyen a todos los hogares independientemente si consumen o no consumen leña, mientras que el valor promedio de consumo de leña en 2015 solo para hogares que sí consumen leña es 3136 kg/año). Esto se explica por un importante aumento en el consumo promedio de pellet desde 1,7 kg en 2015 hasta 304,8 kg en 2017, por el incremento en el consumo promedio de kerosene desde 7,0 lt en 2015 hasta 42,8 lt en 2017, también se incrementa el consumo promedio de electricidad desde 3,2 kw hasta 5,6 kw, mientras que el consumo promedio de gas permanece casi constante. Por último, las emisiones de MP_{2,5} anuales promedio se reducen desde 27 kg hasta 16 kg.

Tabla 55. Descripción de variables de consumo energético y emisiones en el año 2015 y 2017 para grupo de tratamiento y control de ambos programas

	Variable	Observaciones	Promedio	Desv. Estándar	Mínimo	Máximo
Año 2015	Consumo de leña (kg)	391	2799,0	1909,2	0,0	11364,0
	Consumo de pellet (kg)	391	1,7	25,9	0,0	480,0
	Consumo de gas (kg)	391	5,8	27,1	0,0	270,0
	Consumo de kerosene (lt)	391	7,0	40,7	0,0	420,0
	Consumo de electricidad (kw)	388	3,2	55,8	0,0	1090,0
	Emisiones de MP _{2,5} (kg)	391	27,0	25,6	0,0	180,9
Año 2017	Consumo de leña (kg)	390	1875,1	1722,0	0,0	11364,0
	Consumo de pellet (kg)	391	304,8	773,7	0,0	6864,0
	Consumo de gas (kg)	390	5,9	27,5	0,0	270,0
	Consumo de kerosene (lt)	391	42,8	144,4	0,0	1038,0
	Consumo de electricidad (kw)	388	5,6	73,7	0,0	1090,0
	Emisiones de MP _{2,5} (kg)	389	16,0	17,4	0,0	103,9

Fuente: Elaboración propia

Resultados con método de diferencias en diferencias

Para realizar una evaluación conjunta de ambos programas solo se aplica el método diferencias en diferencias³⁴, ya que solamente este método permite la evaluación de los hogares que solo fueron beneficiados por un programa o por ambos programas al mismo tiempo. Para estimar el impacto de cada programa individual y su efecto conjunto sobre las emisiones de MP_{2,5} se genera la siguiente regresión:

$$E_{it} = \alpha + \beta \cdot X_{it} + \tau^{RC}_{DID} \cdot T^{RC}_{it} + \tau^{AT}_{DID} \cdot T^{AT}_{it} + \tau^{RC\&AT}_{DID} \cdot T^{AT}_{it} \cdot T^{RC}_{it} + u_{it} \quad (20)$$

Donde E_{it} corresponde a las emisiones de MP_{2,5} del hogar i en el periodo t , T^{RC}_{it} es una variable *dummy* igual a 1 si el hogar i es beneficiario del programa de recambio de calefactores en el año t , T^{AT}_{it} es una variable *dummy* igual a 1 si el hogar i es beneficiario del programa de aislamiento térmico en el año t , X_{it} son las variables explicativas o variables de control del hogar i en el periodo t y u_{it} es el término de error de la ecuación. El parámetro que determina el impacto del programa de recambio de calefactores es τ^{RC}_{DID} , el parámetro que determina el impacto del programa de aislamiento térmico es τ^{AT}_{DID} y el parámetro que determina el impacto de ambos programas es $\tau^{RC\&AT}_{DID}$.

Para evaluar la robustez los resultados se estimaron seis diferentes especificaciones. El primer modelo solo incluye la variable de tratamiento asociada a la participación en el programa de recambio de calefactores, la participación en el programa de aislamiento térmico y la participación en ambos programas. El segundo modelo además incluye como variables

³⁴ Cabe destacar que el método de *matching* con diferencias en diferencias solo permite evaluar el impacto de un único programa.

de control las características de los equipos como antigüedad y estado del calefactor, en el tercer modelo también se agregan variables que caracterizan al hogar y la vivienda. El cuarto, quinto y sexto modelo son iguales a los anteriores pero se desagrega por tipo de calefactor escogido (pellet y kerosene, utilizando como base los nuevos calefactores a leña certificados).

La Tabla 56 muestra en las tres primeras especificaciones que existe un impacto negativo y estadísticamente significativo del programa de recambio de calefactores sobre el consumo de leña. En el primer modelo se estima una reducción estadísticamente significativa de 2671 kg, el modelo 2 y modelo 3 estiman una reducción estadísticamente significativa de 2388 kg y de 2477 kg. Sin embargo, este efecto desaparece en los modelos 4, 5 y 6, demostrando que en realidad el consumo de leña se reduce significativamente solo en el caso que el nuevo equipo sea a kerosene (3002 kg en el modelo 6) o pellet (1787 kg en el modelo 6). También, se observa en todas las especificaciones que el programa de aislamiento térmico y el efecto combinado de ambos programas no tienen ningún efecto sobre el consumo de leña. Adicionalmente, se determina un impacto significativo de las variables antigüedad del equipo, estado de calefactor malo, confort térmico y conoce el PDA

La Tabla 57 muestra en todas las especificaciones estimadas que solamente el programa de recambio de calefactores genera un impacto negativo y significativo sobre las emisiones de MP_{2.5}. Mientras que el programa de aislamiento térmico o la combinación de ambos programas no aporta significativamente a la reducción de emisiones de MP_{2.5}. La única variable adicional que tiene un efecto robusto en las diferentes especificaciones estimadas, y además, un efecto positivo y estadísticamente significativo es la antigüedad del equipo.

A partir de estos resultados se confirman los resultados determinados en la evaluación individual de cada programa. En consecuencia, se puede afirmar que solamente el programa de recambio de calefactores es efectivo para reducir el consumo de leña y las emisiones, pero que el programa de aislamiento térmico no aporta a esos objetivos, por lo cual se debería realizar una reasignación de esos recursos al programa de recambio de calefactores, y además, se debería excluir la opción de recambio a equipos a leña certificados.

Todo lo anterior, debería llevar a modificar los supuestos con los cuales se están realizando las evaluaciones ex – ante de los PDA en Chile, y además, proponer cambios en las medidas de los PDA que actualmente se están ejecutando para contribuir a un mejor desempeño de estos instrumentos de gestión ambiental.

Tabla 56. Regresiones asociadas al impacto de ambos programas sobre el consumo de leña (kg/año)

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
<i>Programa recambio</i>	-2671,4 [226,7]	** -2387,5 [261,5]	** -2476,5 [287,2]	** -745,6 [416,0]	-628,8 [384,4]	-775,3 [410,6]
<i>Programa aislación</i>	-45,06 [85,17]	-56,65 [91,76]	112,6 [172,0]	-27,83 [92,59]	-44,02 [95,82]	91,57 [163,71]
<i>Ambos programas</i>	227,9 [547,9]	371,9 [545,5]	336,3 [577,6]	32,9 [430,7]	191,4 [456,4]	164,5 [502,0]
<i>Antigüedad equipo</i>		59,32 [23,62]	* 55,36 [24,62]	* 57,26 [23,09]		* 57,84 [24,53]
<i>Calefactor regular</i>		-908,6 [368,4]	* -901,4 [386,4]	* -671,9 [364,5]		-668,3 [390,2]
<i>Calefactor malo</i>		-1130,9 [343,0]	** -947,9 [352,1]	** -757,8 [346,9]	* -711,2 [357,1]	* -711,2 [357,1]
<i>Nº personas</i>			117,1 [112,0]			50,38 [117,3]
<i>Nº personas > 65</i>			33,94 [250,2]			103,9 [221,2]
<i>Nº personas < 15</i>			35,92 [192,4]			63,44 [187,6]
<i>M2 vivienda</i>			-12,66 [17,91]			-0,363 [13,41]
<i>Confort térmico</i>			313,3 [147,2]	* 534,6 [189,4]		279,1 [129,3]
<i>Conoce PDA</i>				** 478,2 [177,2]		478,2 [177,2]
<i>Escolaridad</i>			442,3 [208,7]	* 442,3 [208,7]		295,5 [207,6]
<i>Ingreso</i>			-0,0000777 [0,000701]			-0,0000395 [0,000652]
<i>Elige equipo a kerosene</i>				-3270,6 [606,9]	** -3117,7 [606,4]	** -3001,8 [658,1]
<i>Elige equipo a pellet</i>				-2136,1 [491,3]	** -1877,4 [484,4]	** -1787,2 [513,2]
<i>Constante</i>	2792,4 [37,87]	** 2509,8 [178,0]	** -5450,7 [3101,0]	2792,4 [34,08]	** 2464,2 [168,6]	** -3780,5 [2848,3]
<i>Observaciones</i>	780	766	718	780	766	718
<i>R2</i>	0,447	0,484	0,492	0,529	0,552	0,553

Fuente: Elaboración propia. Nota: Errores estándar en los paréntesis. (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Tabla 57. Regresiones de impacto de ambos programas sobre las emisiones de MP_{2,5} (kg/año)

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
<i>Programa recambio</i>	-28,7 [2,875]	** -22,14 [3,355]	-22,83 [3,651]	** -23,75 [5,746]	-18,18 [4,930]	** -20,59 [5,387]
<i>Programa aislación</i>	-1,262 [0,934]	-1,699 [0,957]	0,149 [1,840]	-1,249 [0,937]	-1,678 [0,955]	-0,256 [1,758]
<i>Ambos programas</i>	-3,613 [7,998]	-1,796 [8,013]	-2,482 [8,713]	-4,135 [7,686]	-2,668 [7,774]	-3,605 [8,599]
<i>Antigüedad equipo</i>		1,006 [0,309]	** 0,917 [0,326]	**	0,98 [0,296]	** 0,936 [0,319]
<i>Calefactor regular</i>		-4,414 [2,844]	-3,887 [2,830]		-4,598 [3,038]	-4,272 [3,060]
<i>Calefactor malo</i>		-6,005 [4,547]	-4,263 [4,647]		-5,938 [4,450]	-5,253 [4,627]
<i>Nº personas</i>			-0,785 [1,164]			-1,121 [1,291]
<i>Nº personas > 65</i>			-0,561 [3,985]			0,455 [3,657]
<i>Nº personas < 15</i>			3,121 [2,344]			3,263 [2,508]
<i>M2 vivienda</i>			-0,172 [0,226]			-0,0676 [0,176]
<i>Confort térmico</i>			3,409 [1,734]	*		2,893 [1,622]
<i>Conoce PDA</i>			3,4 [2,105]			2,146 [2,108]
<i>Escolaridad</i>			1,155 [1,599]			1,392 [1,538]
<i>Ingreso</i>			0,00000348 [0,00000926]			0,00000502 [0,00000905]
<i>Elige equipo a kerosene</i>				-19,3 [10,24]	-19,45 [9,930]	-16,95 [10,79]
<i>Elige equipo a pellet</i>				-1,543 [5,996]	-0,229 [5,571]	2,798 [5,637]
<i>Constante</i>	26,81 [0,501]	** 19,38 [2,554]	-16,55 [30,56]	26,81 [0,489]	** 19,64 [2,425]	** -25,09 [28,45]
<i>Observaciones</i>	779	765	717	779	765	717
<i>R2</i>	0,412	0,457	0,454	0,436	0,483	0,479

Fuente: Elaboración propia. Nota: Errores estándar en los paréntesis. (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Un resumen de los principales resultados obtenidos y cuadro comparativo con las estimaciones ex – ante utilizadas en el AGIES se presentan en la Tabla 58.

Tabla 58. Resumen de resultados de la evaluación ex - post conjunta del programa de recambio de calefactores y aislamiento térmico

Tratamiento	Impacto estimado para Temuco y Padre Las Casas	Robustez de impacto	Valor de impacto recomendado	Intervalo de confianza al 95%	Resultados ex - ante de AGIES para PDA de Temuco y Padre Las Casas
Recambio de calefactores y aislamiento térmico de forma conjunta	<p>Con el método de diferencias en diferencias el consumo de leña se reduce solo para el recambio a equipos a pellet (1787 kg/año) y kerosene (3002 kg/año) pero no para los calefactores a leña certificados (0 kg/año), El aislamiento térmico o su interacción con el recambio no reducen el consumo de leña (0 kg/año).</p> <p>Se estima una reducción de 20,6 kg/año de MP_{2,5} para el recambio de equipo independientemente del tipo³⁵.</p> <p>El aislamiento térmico o su interacción con el recambio no reducen las emisiones de MP_{2,5} (0 kg/año).</p>	Sí	20,6 kg/año de MP _{2,5} por recambio de equipo.	[9,8 ; 31,4] kg/año de MP _{2,5} por recambio de equipo.	Reducción de 153 kg/año de MP _{2,5} para estufa a leña certificada, 166 kg/año de MP _{2,5} para estufa a pellet y 169 kg/año de MP _{2,5} para estufa a kerosene. Además, una reducción de 20 kg/año a 57 kg/año de MP _{2,5} dependiendo del tipo de vivienda y mejoramiento térmico realizado (Fuente: GreenLabUC, 2013).

Fuente: Elaboración propia

³⁵ Esta aparente contradicción entre impacto de emisiones y consumo de leña, se explica por los supuestos de la eficiencia y/o factor de emisión para los nuevos calefactores certificados que son utilizados por el MMA, ya que el presente estudio se basa en encuestas de consumo de leña y no midió las emisiones en terreno.

8 CONCLUSIONES

Este informe desarrolla una evaluación ex – post para medir el impacto de las medidas más relevantes que se han desarrollado en el marco del PDA de Temuco y Padre Las Casas, las cuales tienen por objetivo contribuir a la reducción de las emisiones del sector residencial que aporta un 94% del total. Lo anterior, para priorizar, reorientar o destinar más recursos hacia las medidas más efectivas.

Las medidas del PDA que más recursos concentran son el programa de recambio de calefactores y mejoramiento térmico de viviendas. Al analizar las bases de datos de postulación al programa de subsidios de aislación, se concluye que no es posible identificar a partir de este registro los criterios de selección, requisitos, montos de copagos requeridos, entre otros que hubiesen sido útiles para la evaluación ex – post. Su única utilidad es identificar al grupo de postulantes y beneficiarios para definir una muestra representativa. Sin embargo, las bases de datos existentes de los programas de recambio de calefactores y mejoramiento térmico de viviendas proporcionadas por el MMA se utilizan para caracterizar a los postulantes y calcular la probabilidad de ser beneficiario de alguno de estos programas. Los resultados muestran que el tamaño del grupo familiar, el tipo de calefactor escogido, el estado y tipo del calefactor antiguo son variables relevantes para explicar la probabilidad de ser beneficiario del programa de recambio de calefactores. Mientras que la única variable relevante para explicar la probabilidad de ser beneficiario del programa de aislamiento térmico entre los años 2015 y 2016 es si la vivienda del postulante obtuvo un subsidio de aislación SERVIU entre los años 2008-2015 (cabe señalar que un subsidio de aislación obtenido previamente no impide postular a un nuevo subsidio de aislación, ya que estos subsidios han sufrido modificaciones a través del tiempo).

Luego, se genera un diseño para implementar la evaluación ex - post del PDA de Temuco y Padre las Casas. A partir de la información existente y faltante se determina que las políticas o programas sujetos a evaluación pueden ser la aplicación del PDA como un programa consolidado, la prohibición de uso de leña durante gestión de episodios críticos, el programa de subsidio para el recambio de calefactores y el programa de subsidio para mejoramiento térmico de viviendas. Para cada uno de estos programas se plantean las preguntas de evaluación, teoría del cambio, cadena de resultados, hipótesis e indicadores de desempeño.

Para la evaluación de impacto del PDA como una política consolidada, el diseño propuesto considera la técnica de diferencias en diferencias con los niveles de concentraciones mensuales. Para esto, se recolectan datos de las estaciones de monitoreo de Temuco, y también, de otras ciudades que enfrentan problemas de contaminación similares en la zona centro-sur de Chile. Además, se recopilan variables de control (factores meteorológicos) y las variables de tratamiento (fecha de aplicación del PDA en cada ciudad).

Para la evaluación de impacto de la prohibición de uso de leña durante la gestión de episodios críticos, el diseño propuesto considera la técnica de diferencias en diferencias con

los niveles de concentraciones con datos horarios. Para ello, se procesan datos de las estaciones de monitoreo de Temuco, en las zonas de esta ciudad que tienen prohibición y otras zonas de la misma ciudad sin prohibición. Además, se obtienen variables de control (factores meteorológicos) y variables de tratamiento (días y horas de prohibición en cada zona).

Para evaluar los programas de recambio de calefactores y mejoramiento térmico de viviendas se necesitan los consumos de leña antes y después en los hogares que obtuvieron el beneficio y en hogares que no lo obtuvieron, así como también, variables socioeconómicas, características de los calefactores y características de la vivienda. Por lo cual, se propone un levantamiento de información que considera una ronda de preguntas para caracterizar la línea base y una ronda de seguimiento, es decir, antes y después de participar en alguno de estos programas. Esta encuesta es realizada durante la temporada de otoño-invierno del año 2017, la cual incluye información de los beneficiarios del programa y el grupo de control. La metodología de diferencias en diferencias es seleccionada para identificar el impacto de ambos programas, y además, por la naturaleza de los datos a nivel de hogares también se utiliza el método de *matching* con diferencias en diferencias.

En el caso de la evaluación ex - post del PDA como un programa consolidado se demuestra que el nivel de concentraciones con periodicidad mensual disminuye producto de la aplicación de este instrumento de gestión ambiental. Específicamente, la implementación de un PDA (independiente del contaminante regulado ya sea MP_{10} o $MP_{2,5}$) no es estadísticamente significativa en todas las especificaciones, mientras que la implementación de un PDA para $MP_{2,5}$ sí tiene un impacto negativo y significativo cuando se incluye la variable dependiente rezagada, reduciendo las concentraciones promedio mensuales de MP_{10} en $2,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Este impacto ex - post es menos de un tercio que la reducción estimada con la evaluación ex - ante del PDA de Temuco y Padre Las Casas de $8,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ proyectada al segundo año de implementación (Fuente: MMA, 2014). Los resultados anteriores demuestran que la implementación de un PDA en una zona saturada reduce las concentraciones promedio, pero no son de una magnitud importante en los primeros años de su aplicación. Así, se concluye que los supuestos de las evaluaciones ex - ante (Análisis General del Impacto Económico y Social) son demasiado optimistas sobre la efectividad de algunas medidas incluidas en estos PDA.

En el caso de la evaluación ex - post del programa de gestión de episodios críticos se demuestra que el nivel de concentraciones con periodicidad horaria disminuye en el corto plazo debido a la aplicación de restricciones al uso de calefacción residencial en días de pre-emergencia y emergencia ambiental en las zonas sujetas a prohibición en Temuco y Padre Las Casas. Los resultados muestran que la prohibición durante un episodio crítico (independiente del tipo de episodio) genera una reducción entre 15 y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} y entre 10 y $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $MP_{2,5}$. Al desagregar por tipo de episodio crítico se observa que la prohibición durante un episodio de emergencia permite reducir las concentraciones en una magnitud mayor que la prohibición durante un episodio de pre-emergencia.

Específicamente, entre 40 y 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} y entre 30 y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ durante una emergencia, y además, una reducción entre 10 y 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} y entre 7 y 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ durante una pre-emergencia. Los resultados anteriores muestran que la implementación de este programa de gestión de episodios críticos es bastante efectiva para reducir la contaminación en el corto plazo, lo cual entrega soporte a la idea de ampliar esta medida del PDA de Temuco y Padre Las Casas a otras zonas del país con problemáticas similares, y también, ampliar la misma prohibición durante un día de pre - emergencia respecto a la implementada en un día de emergencia.

En el caso de la evaluación ex - post del programa de recambio de calefactores se determina con el método de diferencias en diferencias que si un hogar escoge un nuevo calefactor a leña certificado no se observa un efecto negativo y estadísticamente significativo sobre el consumo de leña, pero el consumo de leña sí se reduce con significancia estadística en el caso que el nuevo equipo sea a kerosene o pellet. Cabe señalar que la reducción del consumo de leña en estos últimos tipo de equipos no necesariamente es total porque hay algunas viviendas que tenían instalado más de un calefactor a leña previo al programa de recambio. Los resultados de los estimadores de *matching* con diferencias en diferencias muestran que si el hogar escoge un equipo a pellet se puede afirmar con un 99% de confianza que la reducción en el consumo de leña varía entre 2900 kg y 3000 kg (el consumo promedio original en los hogares tratados era 3257 kg), si el hogar escoge un equipo a kerosene se puede afirmar con un 99% de confianza que la reducción en el consumo de leña varía entre 3900 kg y 4000 kg (el consumo promedio original en los hogares tratados era 4029 kg), pero si el hogar escoge un nuevo equipo a leña certificado no se observa una reducción estadísticamente significativa entre ambos grupos. Así, independientemente del método utilizado se concluye que el programa de recambio de calefactores debería focalizar sus recursos solo en los equipos a kerosene o pellet. También, se estima un efecto significativo y negativo sobre las emisiones de $\text{MP}_{2,5}$. En el caso de los estimadores de *matching* con diferencias en diferencias se calcula una reducción que varía entre 28,1 kg y 28,7 kg de $\text{MP}_{2,5}$ por hogar. Cabe destacar que la reducción de las emisiones independientemente del tipo de calefactor solo se explica porque se asume un factor de emisión bajo para los calefactores de leña certificados que no se valida empíricamente en este estudio (basado en encuestas sobre consumo de leña y no en mediciones de emisiones en cada hogar) y no por una reducción significativa en el consumo de leña. Lo anterior, bajo un criterio conservador lleva a sugerir que se prioricen los recambios de calefactores a pellet y kerosene que sí reflejan una reducción significativa e importante en el consumo de leña, ya que los factores de emisión de los calefactores a leña certificados se obtienen bajo condiciones de operación en los laboratorios que puede diferir de las condiciones de operación real, para ejemplificar la variabilidad en los factores de emisión de los calefactores a leña certificados se puede mencionar que existe una desviación estándar de un 30% sobre el valor promedio de las emisiones obtenidas por los 21 equipos a leña con certificación vigente en el SEC. Sin embargo, como en la evaluación ex - post no se midieron las emisiones reales de los nuevos calefactores a leña certificados, y solo se está asumiendo un factor de emisión no se puede asegurar desde el punto de vista de la evaluación ex - post que la reducción en las emisiones para este tipo de calefactores sea

solo atribuible a un supuesto demasiado optimista sobre las emisiones de los nuevos calefactores a leña certificados.

En el caso de la evaluación ex - post del programa de aislamiento térmico de viviendas se demuestra con el método de diferencias en diferencias que este programa no reduce el nivel de emisiones de MP_{2,5}, ni tampoco es efectivo para reducir el consumo de leña. Aun cuando se observa una reducción promedio en todas las estimaciones lo cual concuerda con el *feedback* en terreno que afirma haber recibido el personal de calidad del aire de la SEREMI del Medioambiente de la Región de la Araucanía, la alta variabilidad en los resultados por hogar no permite asegurar con un 95% de confianza que esa reducción es diferente de cero. Estos resultados también se obtienen con el método de *matching* con diferencias en diferencias. Incluso se demuestra que el efecto combinado de ambos programas (aislamiento térmico y recambio de calefactores) no tiene ningún efecto sobre el consumo de leña o emisiones. No obstante, el programa sí genera mejoras en la percepción de confort térmico, lo cual implica que los hogares beneficiados mejoran su bienestar aun cuando mantienen su consumo de leña y emisiones. Lo anterior, se puede explicar intuitivamente porque los hogares en ausencia del programa no alcanzan un nivel de confort adecuado, y luego del aislamiento térmico prefieren no reducir significativamente su consumo de leña, también se puede atribuir a la apertura de puertas debido al flujo de personas que entran o salen del hogar, costumbre de utilizar leña, entre otros factores. En consecuencia, si el único objetivo del programa de aislamiento térmico fuese la reducción de emisiones, se debería realizar una reasignación de estos recursos hacia el programa de recambio de calefactores. Sin embargo, en los análisis se observa que existe un mejoramiento en el confort térmico de los hogares que reciben este programa, lo cual puede ser ponderado al decidir una potencial reasignación de recursos. Cabe señalar que la mayoría de los estudios previos sobre acondicionamiento térmico se basan en metodologías ex - ante de simulación, y los pocos estudios que han levantado datos sobre consumo de leña para calefacción incorporando sensores de temperatura después de la intervención no tienen muestras representativas ni han utilizado metodologías de evaluación ex - post (ver sección 4.3.5). Aun cuando este estudio es el primero en utilizar una metodología diseñada para realizar evaluación del impacto del programa bajo un contexto ex - post, los resultados obtenidos concuerdan con estudios previos que han levantado datos de consumo de leña en relación a que se observa una reducción promedio en su consumo, y también, en el hecho que esa reducción promedio no es estadísticamente significativa de cero. Así, la diferencia fundamental es que este estudio tiene que una muestra representativa de la población beneficiaria de este programa en Temuco y Padre Las Casas.

Finalmente, se puede mencionar que todas las evaluaciones ex - post realizadas en este informe permitirán modificar los supuestos utilizados en las evaluaciones ex - ante de los nuevos PDA en Chile, y además, proponer cambios en las medidas en los PDA que actualmente se están ejecutando para contribuir a un mejor resultado ambiental. Los valores sugeridos para los supuestos de las evaluaciones ex - ante de los programas analizados son los siguientes: La aplicación de un PDA para MP_{2,5} hasta el segundo año debería reducir en promedio las concentraciones mensuales 2,53 µg/m³. Su acotado impacto ex - post en la

reducción durante los primeros años debería llevar a asumir una implementación más lenta de los PDA en las evaluaciones ex – ante, así como también, menor eficiencia de las medidas centrales del PDA, tal como se demuestra en el caso de recambio por calefactores a leña certificados y mejoramiento térmico de viviendas. La aplicación del programa de gestión de episodios críticos debería generar una reducción de $47,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ para un episodio de emergencia y $7,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ para un episodio de pre - emergencia durante las horas con prohibición. Lo anterior, permitiría incluir y proyectar reducciones de este tipo de medidas en la evaluación ex – ante de los futuros PDA. El recambio de un calefactor debería reducir $28 \text{ kg}/\text{año}$ de $\text{MP}_{2,5}$ por vivienda. Se recomienda utilizar solo las opciones de recambio a pellets y kerosene, especialmente esta última porque además de generar una mayor reducción en el consumo de leña su costo es menor, lo cual la transforma en la alternativa más costo - efectiva de los programas de recambio de calefactores. El mejoramiento térmico genera una reducción promedio de las emisiones de acuerdo al método de diferencias en diferencias, pero la alta variabilidad permite afirmar desde un punto de vista estadístico con un 95% de confianza que la reducción no es diferente de $0 \text{ kg}/\text{año}$ de $\text{MP}_{2,5}$ por vivienda³⁶, lo que podría llevar a modificar los supuestos sobre temperatura constante dentro de los hogares, ya que pareciera que estos prefieren incrementar su confort térmico o bien existen otros factores asociados a la apertura de puertas y flujo de personas que por su alta variabilidad entre los hogares beneficiados podrían alterar la eficiencia del aislamiento generada por los modelos de simulación. Cabe mencionar que la evaluación ex – post realizada corresponde al programa de aislamiento térmico tal como fue implementado entre los años 2015 a 2016, lo cual significa que potenciales mejoras en el programa que generen mayores niveles de aislación, homogenización en la ejecución de los trabajos de mejoramiento de viviendas y/o medidas complementarias de sensibilización o educación en el uso de energía en el hogar y sobre cómo evitar fugas de calor en el hogar luego de la intervención de la vivienda, podrían ayudar a que en el futuro el programa tenga una evaluación más positiva sobre su efectividad ex – post en términos medioambientales.

A continuación se presenta un resumen con las principales recomendaciones de este informe.

³⁶ Este valor de $0 \text{ kg}/\text{año}$ de $\text{MP}_{2,5}$ se explica porque no es posible rechazar la hipótesis nula asociada a la ausencia de un efecto del programa de aislamiento térmico con un 95% de confianza. Sin embargo, si se requiere obtener un valor promedio de reducción independientemente de su significancia estadística, se puede utilizar el coeficiente estimado con el método de *matching* con diferencias en diferencias que varía entre 5,2 y 6,1 $\text{kg}/\text{año}$ de $\text{MP}_{2,5}$.

Tabla 59. Resumen de recomendaciones

Programa	Recomendación	Recomendación específica para AGIES
PDA como programa consolidado	<ul style="list-style-type: none"> • Generar indicadores de seguimiento cuantitativos y/o cualitativos con periodicidad mensual de cada una de las medidas incorporadas en los PDA implementados en Chile que permitan ser utilizados como variables de control para futuras evaluaciones ex – post. En este sentido se recomienda modificar la recientemente promulgada normativa “Instrucciones sobre el registro y reporte del estado de avance del PDA de MP₁₀ y MP_{2,5} de Temuco y PLC” para que la periodicidad de sus indicadores sea mensual. • Modificar los supuestos de las evaluaciones ex - ante (Análisis General del Impacto Económico y Social) sobre la reducción de emisiones porque son demasiado optimistas respecto a los resultados observados en la evaluación ex – post del PDA como programa consolidado. 	La aplicación de un PDA para MP _{2,5} hasta el segundo año debería reducir en promedio las concentraciones mensuales 2,5 µg/m ³ .
Gestión de episodios críticos	<ul style="list-style-type: none"> • Generar indicadores de seguimiento cuantitativos y/o cualitativos con periodicidad diaria de acciones de fiscalización para incluirlos como variables de control en futuras evaluaciones ex – post. • Ampliar el programa de gestión de episodios críticos del PDA de Temuco y Padre Las Casas a otras zonas del país con problemáticas de contaminación similares, y también, ampliar la misma prohibición durante un día de pre - emergencia respecto a la implementada en un día de emergencia. Estas acciones contribuirían a reducir más las concentraciones de MP₁₀ y MP_{2,5} en el corto plazo. 	La aplicación del programa de gestión de episodios críticos debería generar una reducción de 47,3 µg/m ³ de MP _{2,5} para un episodio de emergencia y 7,2 µg/m ³ de MP _{2,5} para un episodio de pre - emergencia durante las horas con prohibición.
Recambio de calefactores	<ul style="list-style-type: none"> • Mejoramiento de los registros de inscripción y postulación al programa, siguiendo la estructura del cuestionario diseñado en este estudio, de tal forma que permitan su utilización como línea base para futuras evaluaciones ex – post. • Focalizar los recursos solo en los equipos a kerosene o pellet. 	El recambio de un calefactor (pellet o kerosene) debería reducir 28 kg/año de MP _{2,5} por vivienda.
Aislamiento térmico	<ul style="list-style-type: none"> • Mejoramiento de los registros de inscripción y postulación al programa, siguiendo la estructura del cuestionario diseñado en este estudio, de tal forma que permitan su utilización como línea base para futuras evaluaciones ex – post. • Realizar una reasignación de recursos hacia el programa de recambio de calefactores. A menos que también se persiga el incremento en el confort térmico de los hogares que reciben este programa, y no solamente se busque una reducción de emisiones. 	El mejoramiento térmico debería reducir 0 kg/año por vivienda.

Fuente: Elaboración propia

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R., Leckie, S., Millar, G., & Brauer, M. (2009). The impact of wood stove technology upgrades on indoor residential air quality. *Atmospheric Environment*, 43, 5908–5915.
- Bergauff, M., Ward, T., Noonan, C., & Palmer, C. (2009). The effect of a woodstove changeout on ambient levels of PM_{2.5} and chemical tracers for woodsmoke in Libby, Montana. *Atmospheric Environment*, 43(18), 2938–2943.
- Blundell, R., & Costa Dias, M. (2002). Alternative approaches to evaluation in empirical microeconomics. *University College London and Institute for fiscal Studies*.
- Bustamante, W., Cepeda, R., Martínez, P., & Santa María, H. (2009). *Eficiencia energética en vivienda social: un desafío posible*. Camino al Bicentenario propuestas para Chile, 253-282.
- Cardenas, J., Araneda, C., & Beaumont, J. (2014). Evaluación del plan de reacondicionamiento térmico en Temuco y Padre Las Casas. *Revista Científico Tecnológica Departamento Ingeniería de Obras Civiles RIOC*, Volumen 3/2013 ISSN 0719-0514.
- CDT. (2014). *Encuesta de Consumo Energético para Calefacción y Cocción en el sector residencial*.
- CENMA (2010). Actualización del Inventario de Emisiones de Temuco y Padre Las Casas. Informe Final, Santiago.
- CE3V. (2011). *Evaluación Energética de una Muestra Representativa de Viviendas Intervenidas en la Iniciativa Piloto de Reacondicionamiento Térmico*.
- Cerda, A., García, L., Bahamondez, A., & Poblete, V. (2010). Disposición a pagar para mejorar la calidad del aire en Talca, Chile: comparación entre usuarios y no usuarios de chimeneas a leña. *Lecturas de Economía*, 75, 195-211.
- Chabé-Ferret, S. (2014). Why Does Difference In Difference Matching Work? Toulouse School of Economics and Inra.
- CONAF. (2015). *Caracterización de centros de acopio rurales y periurbanos de leña en las regiones de O'Higgins, Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos y Aysén*.
- Dehejia, R., & Wahba, S. (1999). Causal Effects in Non-Experimental Studies: Re-Evaluating the Evaluation of Training Programs. *Journal of the American Statistical Association*, 94(448), 1053-1062.
- Démurger, S., & Fournier, M. (2011). Poverty and firewood consumption: A case study of rural households in northern China. *China Economic Review*, 22, 512–523.
- Edwards, R., Smith, K., Zhang, J., & Yuqing, M. (2004). Implications of changes in household stoves and fuel use in China. *Energy Policy*, 32, 395-411.
- Escorcía, O., García, R., Trebilcock, M., Celis, F., & Bruscatto, U. (2012). Mejoramientos de envolvente para la eficiencia energética de viviendas en el centro-sur de Chile. *Informes de la Construcción*, 64(528), 563-574.
- Farías, O., & Salgado, C. (2013). Desarrollo de calefactores a leña para adaptarse a la nueva legislación energética y ambiental en Chile. *XI Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica*. La Plata, Argentina.

- Fierro, J., & Muñoz, J. (2015). Evaluación de mejoramiento de muros mediante simulación energética y análisis de LCC para viviendas de construcción frecuente en Chile. *HS*, 5(1), 24–43.
- Fissore, A., & Colonelli, P. (2013). *Evaluación Independiente del Programa de Reacondicionamiento Térmico*. Informe Final preparado para Ministerio de Vivienda y Urbanismo y Ministerio de Energía.
- García, R., & Campos, P. (2015). Análisis y difusión de reacondicionamientos energéticos residenciales basados en simulaciones. *Revista Tecnología e Ambiente*, 21(1), Criciúma, Santa Catarina. ISSN: 1413-8131.
- Gómez, W., Salgado, H., Vasquez, F., & Chávez, C. (2014). Using stated preference methods to design cost-effective. *Journal of Environmental Management*, 132, 346-357.
- Gómez, W., Yep, S., & Chávez, C. (2013). Subsidios a hogares para inducir adopción de tecnologías de combustión de leña más eficiente y menos contaminantes: Simulación para el caso de Temuco y Padre Las Casas. *Estudios de Economía*, 40(1), 21-52.
- GreenLabUC (2013). *Análisis Detallado de Medidas para Incorporar al Plan de Descontaminación por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas*. Informe Final, Santiago.
- GreenLabUC (2016). Manual para desarrollo de inventarios. Informe Final, Santiago.
- Gertler, P., Martínez, S., Premand, P., Rawlings, L. y Vermeersch, C. (2015). La Evaluación de Impacto en la Práctica: World Bank Publications.
- Grieshop, A., Marshall, J., & Kandlika, M. (2011). Health and climate benefits of cookstove replacement options. *Energy Policy*, 39, 7530–7542.
- Heckman, J. (1979). Sample selection bias as a specification error. *Econometrica*, 47(1), 153-161.
- Heckman, J., Ichimura, H., & Todd, P. (1997). Matching as an Econometric Evaluation Estimator: Evidence from Evaluating a Job Training Programme. *Review of Economics Studies*, 64, 605-654.
- Herrick, C., & Sarewitz, D. (2000). Ex post evaluation: a more effective role for scientific assessments in environmental policy. *Science, Technology & Human Values*, 25(3), 309-331.
- Hernández, H., & Meza, L. (2011). Propuesta de una metodología de certificación de eficiencia energética para viviendas en Chile. *Revista de la Construcción*, 10(1), 53-63.
- Holland, P. W. (1986). Statistic and Causal Inference. *Journal of the American Statistical Association*, 81(396), 945 - 960.
- IIT-UdeC. (2012). *Diagnóstico de la calidad del Aire y medidas de descontaminación en Talca y Maule*. Concepción: Informe para Seremi MMA región de O'Higgins.
- IIT-UdeC (2015). *Elaboración de guía metodologica para la evaluación ex – post de políticas ambientales*. Concepción: Informe para MMA.
- Imbens, G., & Lemieux, T. (2007). Regression discontinuity designs: a guide to practice. *NBER, Working Paper No 13039*.

- Imbens, G., & Wooldridge, J. M. (2009). Recent Developments in the Econometrics of Program Evaluation. *Journal of Economic Literature*, 47(1), 5-86.
- Kolaitis, D., Malliotakis, E., Kontogeorgos, D., Mandilaras, I., Katsourinis, D., & Founti, M. (2013). Comparative assessment of internal and external thermal insulation systems for energy efficient retrofitting of residential buildings. *Energ. Energy and Buildings*, 64, 123-131.
- Mardones, C., & Saavedra, A. (2016). Comparison of economic instruments to reduce PM2.5 from industrial and residential sources. *Energy Policy*, 98, 443-452.
- Mardones, C., & Sanhueza, L. (2015). Tradable Permit System for PM2.5 Emissions from Residential and Industrial Sources. *Journal of Environmental Management*, 157, 326-331.
- Méndez, P., Echevarría, C., Yañez, C., Colonelli, P., Fissore, A., Pimentel, R., y otros. (2015). *Propuestas para un programa de eficiencia energética en viviendas existentes en Chile. El Caso de los Sectores de Ingresos Medios y Altos*. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Energía. X. Serie. IDB-MG-342.
- Ministerio de Energía. (2015). *Política de uso de la leña y sus derivados para calefacción*.
- MINVU. (2007). *Programa de Inversión Pública para Fomentar el Reacondicionamiento Térmico del Parque Construido de Viviendas*. Elaborado por Ambiente Consultores - PRIEN, Universidad de Chile.
- MMA. (2012). *Guía Técnica para Calcular la Reducción de Emisiones Producto del Recambio de Estufas a Leña, como medida de compensación de emisiones para proyectos que ingresan al SEIA*. Santiago.
- MMA (2014). *Actualización para proyecto definitivo - análisis general del impacto económico y social del plan de descontaminación de Temuco y Padre las Casas por MP10 y MP2,5*. Santiago.
- Rosebaum, P., & Rubin, D. (1983). The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. *Biometrika*, 70, 41-55.
- Sanhueza, L., Mardones, C., & Jiménez, J. (2015). Efectos de la incorporación de fuentes residenciales en mecanismos de compensación de emisiones industriales de MP10. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 31(3), 279-291.
- Schueftan, A., & González, A. (2013). Reduction of firewood consumption by households in south-central Chile associated with energy efficiency programs. *Energy Policy*, 63, 823-832.
- Schueftan, A., & González, D. (2015). Proposals to enhance thermal efficiency programs and air pollution control in south-central Chile. *Energy Policy*, 79, 48-57.
- Schueftan, A., Sommerhoff, J., & González, A. (2016). Firewood demand and energy policy in south-central Chile. *Energy for Sustainable Development*, 33, 26-35.
- SEC. (20 de Diciembre de 2016). SEC. Obtenido de http://www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,6069695&_dad=portal&_schema=PORTAL
- SEREMI DEL MMA Región de La Araucanía. (2011). *Informe de Implementación Año 2010 Plan De Descontaminación Atmosférica de Temuco y Padre Las Casas*.
- SEREMI DEL MMA Región de La Araucanía. (2012). *Informe de Implementación Año 2011 Plan De Descontaminación Atmosférica de Temuco y Padre Las Casas*.

- SEREMI del MMA Región de La Araucanía. (2013). *Informe de Implementación Año 2012 Plan De Descontaminación Atmosférica de Temuco y Padre Las Casas*. Temuco.
- SEREMI DEL MMA Región de La Araucanía. (2014). *Informe de Implementación Año 2013 Plan De Descontaminación Atmosférica de Temuco y Padre Las Casas*.
- SEREMI DEL MMA Región de La Araucanía. (2015). *Aplicación de medidas y avances más relevantes del "Plan de Descontaminación Atmosférica de Temuco y Padre Las Casas PDA-MP10*. Presentación en seminario. 15 de diciembre de 2015.
- SEREMI del MMA Región de La Araucanía. (2015). *Informe de Implementación Primer Semestre de 2014 Plan De Descontaminación Atmosférica de Temuco y Padre Las Casas*.
- SICAM-Ingeniería. (2014). *Actualización Inventario de Emisiones de Temuco y Padre Las Casas año base 2013*. Temuco: Informe para MMA.
- SICAM-Ingeniería. (2016). *Diagnóstico para la implementación de planes de descontaminación atmosférica de la zona centro - sur*. Temuco: Informe para MMA.
- Smith, J., & Todd, P. (2005). Does matching overcome LaLonde's critique of nonexperimental estimators? *Journal of Econometrics*, 305-353.
- SNCL. (2016). *Implementación de oferta de leña seca con origen sostenible bajo estándar del Sistema Nacional de Certificación de Leña*. Informe Final Convenio CONAF-SNCL 2015 CONAF/GEDEFF/Unidad de Dendroenergía.
- Universidad de la Frontera (2010). *Ejecución de Encuesta sobre Consumo de Leña Residencial en las Comunas de Temuco y Padre Las Casas, Región de La Araucanía*. Informe Final, Temuco.
- Tran, H., & Mölders, N. (2012). Numerical investigations on the contribution of point source emissions to the PM_{2.5} concentrations in Fairbanks, Alaska. *Atmospheric Pollution Research*, 3, 199-210.
- Vasco, D., Muñoz, M., Pino, R., Aguilera, R., & García, C. (2017). Thermal simulation of a social dwelling in Chile: Effect of the thermal zone and the temperature-dependant thermophysical properties of light envelope materials. *Applied Thermal Engineering*, 112, 771-783.
- Yap, P.-S., & García, C. (2015). Effectiveness of Residential Wood-Burning Regulation on Decreasing Particulate Matter Levels and Hospitalizations in the San Joaquin Valley Air Basin. *American Journal of Public Health*, 105(4), 772-778.

ANEXO A: REPORTE DE EVALUACIONES EX – POST PARA GUÍA METODOLÓGICA

ANEXO A.I: EVALUACIÓN EX – POST DEL PDA COMO PROGRAMA CONSOLIDADO

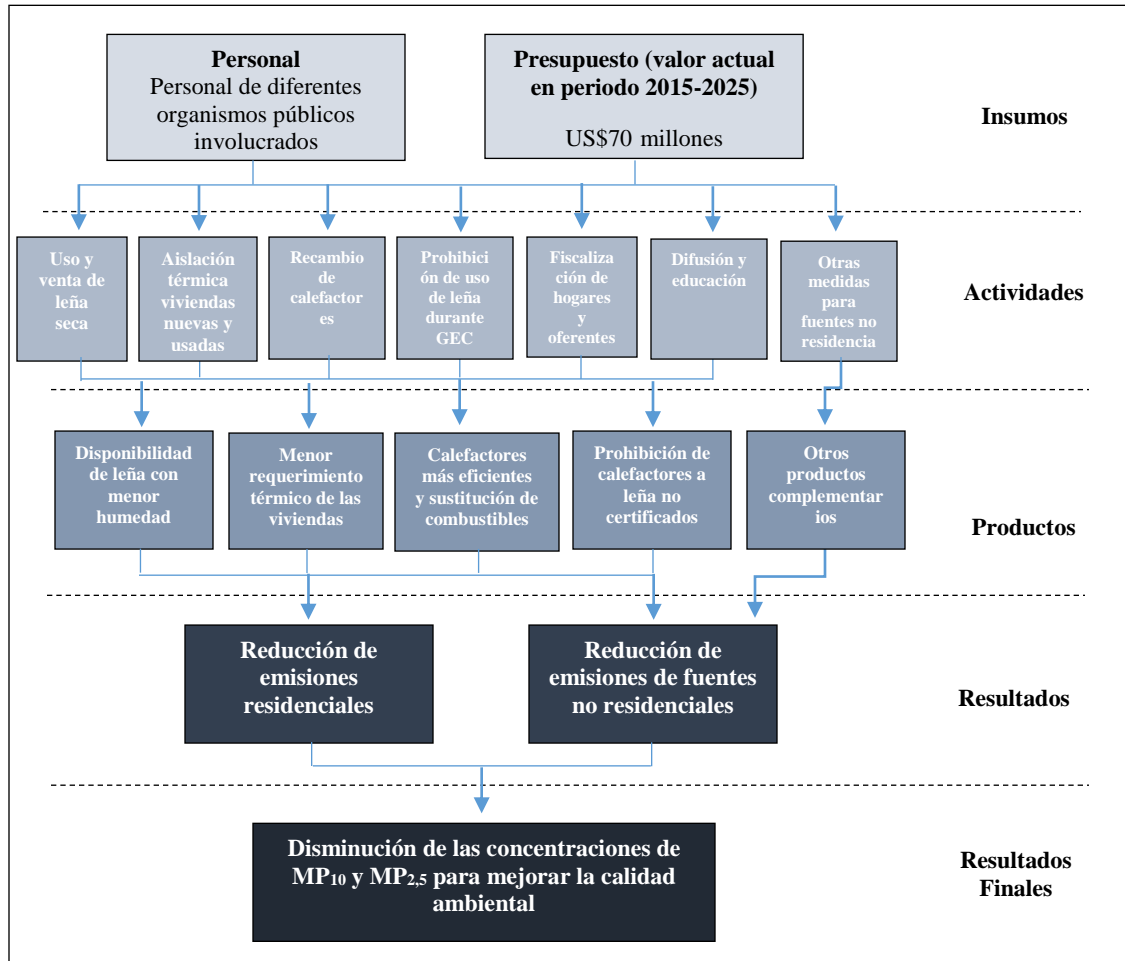
INTRODUCCIÓN

En Chile se han declarado zonas saturadas que justifican la aplicación de planes de descontaminación (PDA). Estos planes son instrumentos de gestión ambiental que incluyen un conjunto específico de medidas, regulaciones, instrumentos y acciones complementarias que buscan reducir las emisiones de las principales fuentes contaminantes en la zona saturada para recuperar los niveles establecidos en las normas primarias de calidad ambiental. Específicamente, en la zona de Temuco y Padre Las Casas se aplicó un PDA para reducir las concentraciones de MP_{10} en junio de 2010, el cual fue posteriormente reemplazado en noviembre de 2015 por un PDA que se enfocó en la reducción del $MP_{2,5}$.

El efecto esperado del PDA de Temuco y Padre Las Casas es la reducción en las concentraciones de material particulado. En consecuencia, la evaluación ex - post del PDA como un programa consolidado se basa en determinar si al condicionar por factores meteorológicos el valor promedio de las concentraciones mensuales de material particulado no es diferente luego de la aplicación del PDA, es decir, si el efecto promedio del tratamiento es cero.

La cadena de resultados de este programa se puede definir por la secuencia lógica que se presenta en la Figura A1.

Figura A1. Representación gráfica de la teoría del cambio del PDA de Temuco y Padre Las Casas



Fuente: Elaboración propia

Para esta evaluación son relevantes las zonas en el centro - sur de Chile que cuenten con un plan de descontaminación y/o prevención para reducir los niveles de concentración de material particulado, y que además, tengan un alto porcentaje de emisiones totales generadas por fuentes residenciales. También, es relevante tener unidades de análisis para el grupo de control, que en este caso pueden ser zonas geográficas que aún no cuenten con un plan vigente o haya sido implementado en una fecha diferente al PDA de Temuco y Padre Las Casas, y además, que tengan estaciones de monitoreo con mediciones de concentraciones de material particulado para periodos similares. Lo anterior, con el objetivo de definir un escenario contrafactual creíble. Como los datos para el grupo de tratamiento y control están disponibles a nivel mensual se propone para la identificación del impacto del programa una metodología cuasi-experimental de diferencias en diferencias para aprovechar la estructura de datos de panel.

Las zonas geográficas con PDA que cumplen con las características requeridas para la evaluación son presentados en la Tabla A1. En particular, estas zonas se caracterizan porque tienen altos niveles de penetración de uso de leña para calefacción residencial y algunas de ellas comparten ciertas características porque están localizadas en la zona centro - sur de Chile.

Tabla A1. Zonas con PDA y fechas de aplicación

Zona con PDA	Estado	Fecha Publicación	Año Finalización
Temuco y Padre Las Casas	Reemplazado	03-06-2010	2015
Valle Central de O'Higgins	Vigente	02-05-2013	2023
Talca y Maule	Vigente	28-03-2016	2025
Chillán y Chillán Viejo	Vigente	28-03-2016	2025
Temuco y Padre Las Casas	Vigente	17-11-2015	2025
Osorno	Vigente	28-03-2016	2025
Coyhaique	Vigente	28-03-2016	2025

Fuente: Elaboración propia

Aun cuando hubiese sido útil incluir en la evaluación a todas las zonas del centro - sur del país con mediciones de concentraciones de MP₁₀, al procesar los datos de concentraciones se llegó a la conclusión que solo siete estaciones de monitoreo cumplían con los requerimientos de continuidad y disponibilidad de variables meteorológicas para ser incluidas en este análisis. Estas siete estaciones de monitoreo están localizadas en las comunas de Coyhaique, Temuco, Osorno, Rancagua, Rengo, San Fernando y Valdivia.

Se incluye la zona de Valdivia porque su PDA está en tramitación final y no estuvo vigente para el periodo de datos analizados en la presente evaluación ex – post. Lo anterior, no significa que la ciudad de Valdivia actúe como único control, ya que también las diferencias en las fechas de implementación del PDA en otras zonas permiten caracterizar las concentraciones en el grupo de control. Por ejemplo, Talca y Maule, Chillán y Chillán Viejo, Temuco y Padre Las Casas, Osorno, y Coyhaique entre mayo de 2013 y noviembre de 2015 forman parte del grupo de control para la aplicación del PDA en el Valle Central de O'Higgins.

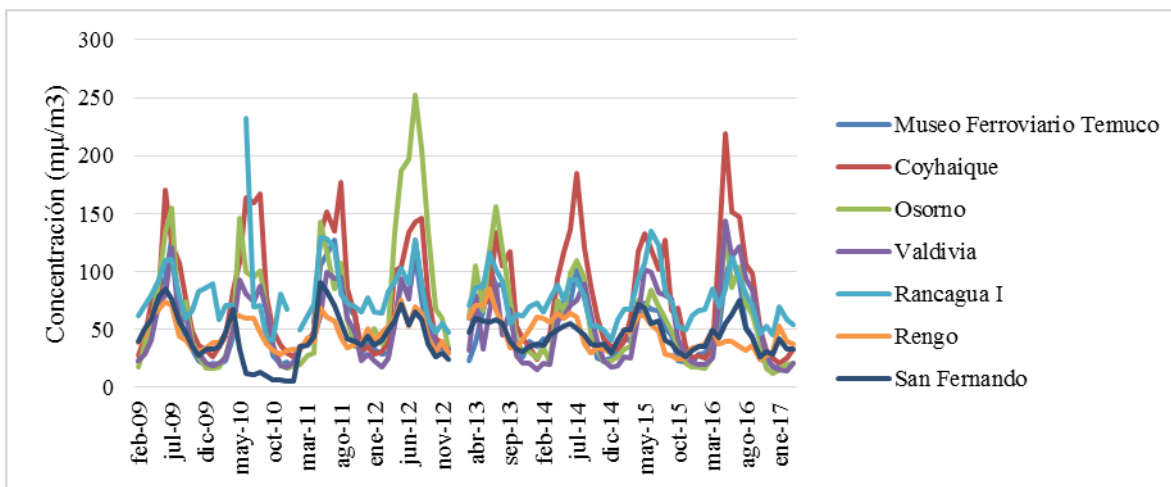
Dentro de las limitaciones de esta evaluación se puede mencionar que aun cuando se incluyen variables de control para las condiciones climáticas como temperaturas, viento y precipitaciones, no hay disponibilidad de datos históricos con periodicidad mensual en cada zona para otros factores que podrían afectar los niveles de contaminación como los precios de los diferentes energéticos, ingresos o cambios en el comportamiento de la población. Además, la metodología de diferencias en diferencias propuesta para identificar el impacto no permite extrapolar los resultados de aplicar un PDA en una zona diferente a las incluidas en el análisis.

DATOS

En la evaluación ex – post del PDA como un programa consolidado la variable de resultado corresponde a las concentraciones de material particulado reportadas en las estaciones de monitoreo del SINCA. Actualmente, en Chile existen 199 estaciones de monitoreo que miden este contaminante en diferentes zonas del país, pero solo se requiere incluir en el análisis aquellas estaciones de monitoreo que cuenten con información validada y/o de buena calidad. También, es lógico considerar solo aquellas comunas del centro - sur del país con características similares a la zona de Temuco y Padre Las Casas, y además, que tengan disponibilidad de datos meteorológicos.

Al procesar todos los datos de concentraciones se determina que existen siete estaciones de monitoreo para MP₁₀ que tienen datos completos desde el año 2009 y que cumplen con los requerimientos establecidos en el párrafo anterior (ubicadas en las zonas de Temuco, Osorno, Rancagua, San Fernando, Coyhaique, Valdivia y Rengo) y solo cuatro para el MP_{2,5} (ubicadas en las zonas de Rancagua, Temuco, Osorno y Valdivia). En consecuencia, el estudio de la evaluación ex – post se enfoca en el MP₁₀ ya que mientras más comunas se incluyan en el análisis es mejor para construir un escenario contrafactual creíble.

Figura A2. Estaciones de monitoreo con datos mensuales de concentraciones para MP₁₀ desde año 2009



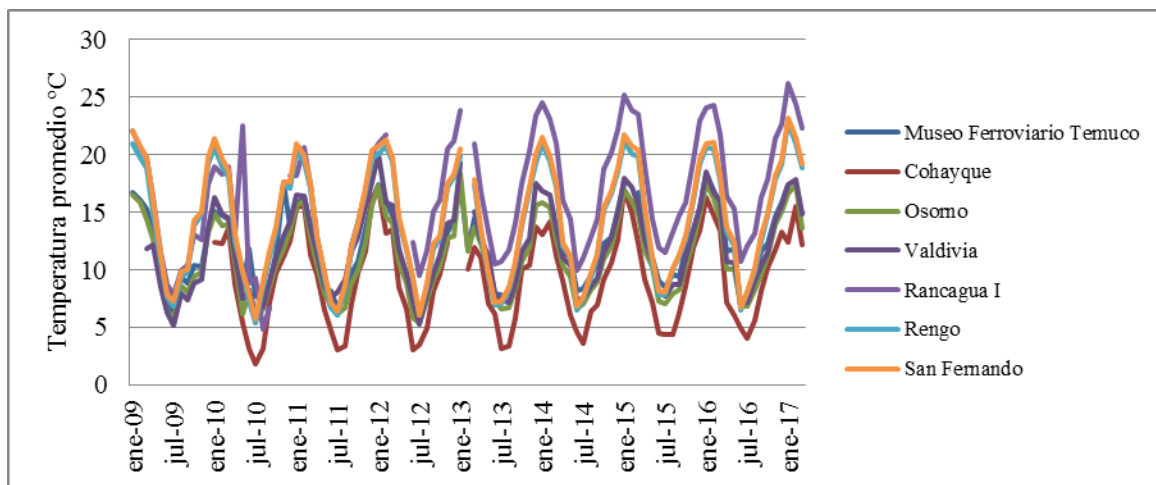
Fuente: Elaboración propia en base a SINCA

La variable de tratamiento corresponde a una variable dicotómica que adopta el valor uno si en ese mes ha estado en vigencia un PDA y cero en caso contrario. También, se incluye una variable de tratamiento adicional que distingue si se trata de los nuevos PDA que regulan el MP_{2,5}.

Por otra parte, las variables meteorológicas permiten controlar factores que pueden influenciar los niveles de concentraciones de material particulado. En este sentido, las bajas temperaturas motivan el mayor uso de leña para calefacción en invierno, mientras que la lluvia y el incremento en la velocidad del viento ayudan a reducir las concentraciones de contaminantes. Los datos meteorológicos mensuales son obtenidos de los registros de las estaciones de monitoreo del SINCA, referentes a temperatura, velocidad del viento y precipitaciones.

La Figura A3 muestra las temperaturas mensuales promedio (°C) en las estaciones de monitoreo ubicadas en las zonas de Temuco, Osorno, Rancagua, San Fernando, Coyhaique, Valdivia y Rengo. Se observa que la disponibilidad de datos de temperaturas en todas las zonas durante el periodo de interés permite incluirla como variable de control.

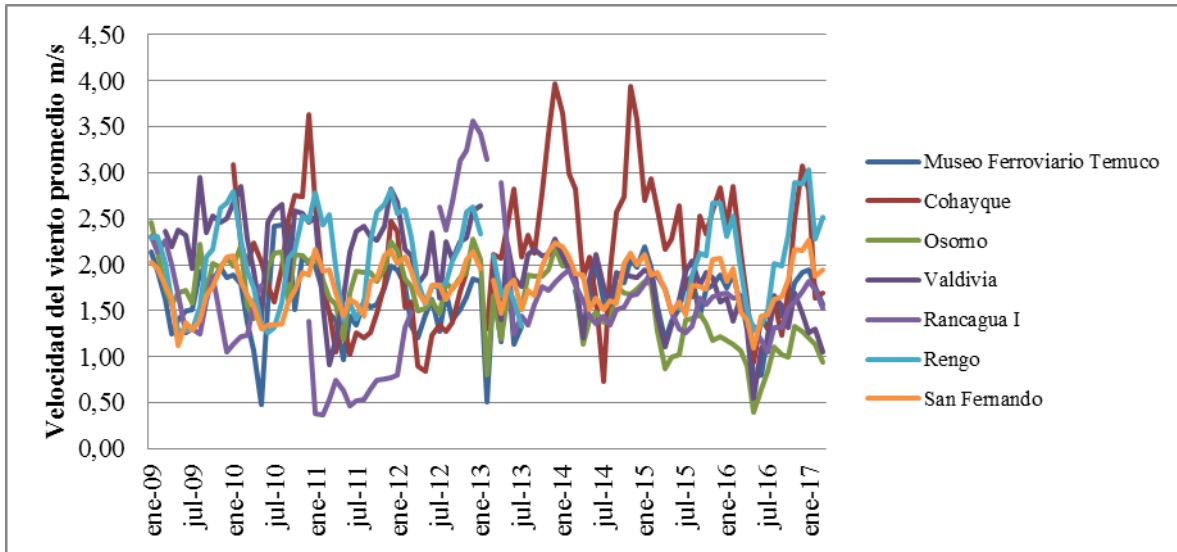
Figura A3. Temperatura mensual en estaciones de monitoreo zona centro - sur



Fuente: Elaboración propia en base a SINCA

La Figura A4 muestra la velocidad del viento (metros/segundo) en las zonas de Temuco, Osorno, Rancagua, San Fernando, Coyhaique, Valdivia y Rengo. En consecuencia, la disponibilidad de datos desde el año 2009 también permite incluirla como variable de control.

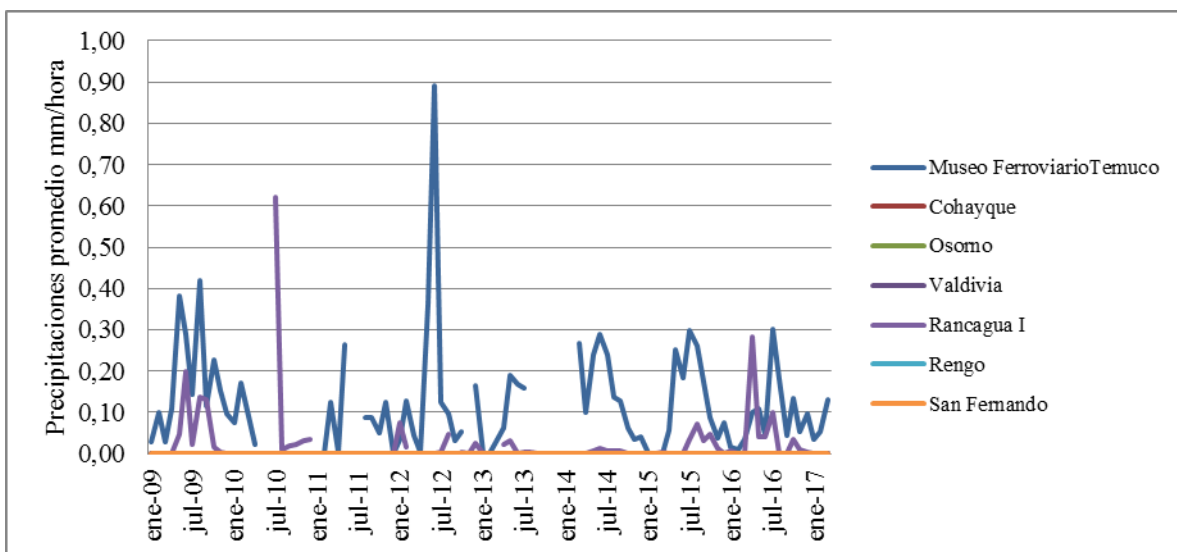
Figura A4. Velocidad del viento mensual en estaciones de monitoreo zona centro – sur



Fuente: Elaboración propia en base a SINCA

Sin embargo, las precipitaciones solo están disponibles para dos de las siete comunas que fueron seleccionadas (ver Figura A5), así que no pueden ser incorporadas como variable de control en la evaluación ex - post del PDA como un programa consolidado.

Figura A5. Precipitaciones mensuales en estaciones de monitoreo zona centro – sur



Fuente: Elaboración propia en base a SINCA

A partir de la información previamente mencionada se construyó una base de datos de panel con periodicidad mensual para la evaluación de este programa, la cual se basa en

información secundaria obtenida del SINCA para mediciones de MP₁₀ y variables meteorológicas en siete comunas del centro - sur de Chile con problemas de contaminación por uso de leña para combustión residencial, también incluye dos variables *dummies* que reflejan la implementación de un PDA o un PDA específico para MP_{2,5}, una variable que indica el número de meses desde la aplicación del PDA, y además, una variable que indica el mes para construir variables *dummies* que permitan controlar por estacionalidad mensual. El periodo de tiempo comprende desde el mes de febrero del año 2009 hasta el mes de marzo del año 2017.

La Tabla A2 presenta la estadística descriptiva de las variables disponibles en la base de datos. Se observa que algunas variables como las concentraciones mensuales de MP₁₀, temperaturas, viento y precipitaciones, no están disponibles para todo el periodo analizado en todas las comunas. Sin embargo, el mayor problema surge con los datos para la variable de precipitaciones que solo cuenta con 161 observaciones de un total de 686. Mientras que las variables asociadas al mes y a la implementación de un PDA o un PDA solo para MP_{2,5} están disponibles para todo el periodo de interés.

Tabla A2. Estadística descriptiva base de datos para evaluación ex - post de PDA como programa consolidado

Variable	Observaciones	Promedio	Desv. Est.	Mínimo	Máximo
<i>mp10</i>	660	59,5164	35,9016	5,5378	252,7420
<i>temperatura</i>	654	12,7012	4,7783	1,8219	26,2480
<i>precipitaciones</i>	161	0,1027	0,2653	0,0000	2,7218
<i>viento</i>	632	1,8224	0,7852	0,3679	16,0208
<i>mes</i>	686	6,4184	3,4664	1,0000	12,0000
<i>pda</i>	686	0,3601	0,4803	0,0000	1,0000
<i>pdamp25</i>	686	0,2653	0,4418	0,0000	1,0000
<i>meses desde pda</i>	686	5,3834	11,4856	0,0000	47,0000

Fuente: Elaboración propia.

METODOLOGIA

El estimador de diferencias en diferencias permite estimar consistentemente el efecto promedio del tratamiento en el grupo tratado (conocido como *Average Treatment Effect on Treated*, ATT). El principal supuesto de este estimador es que el cambio experimentado por el grupo de control, en el periodo que transcurre antes y después de tratamiento, es una buena estimación del cambio que hubiese experimentado el grupo que recibió el tratamiento si es que no lo hubiese recibido. Lo anterior, se debe a que el método asume que los factores no observables permanecen constantes en el tiempo, es decir, que existen efectos temporales comunes a través de los dos grupos y que no cambia sistemáticamente la composición dentro de cada grupo.

El método diferencias en diferencias implementado con una regresión de datos de panel con efecto fijo estima el efecto promedio en las concentraciones mensuales de MP₁₀ si se implementa un PDA (independiente del contaminante regulado ya sea MP₁₀ o MP_{2,5}) o un PDA solo para MP_{2,5}, eliminando factores no observables que permanecen constantes entre comunas y efectos no observables individuales a nivel comunal.

Para estimar el impacto del programa sobre las concentraciones mensuales de MP₁₀ se genera la siguiente regresión:

$$C_{it} = \alpha + \beta \cdot X_{it} + \tau^{PDA}_{DID} \cdot T^{PDA}_{it} + \tau^{PDAMP2,5}_{DID} \cdot T^{PDAMP2,5}_{it} + u_{it} \quad (A1)$$

Donde C_{it} corresponde a las concentraciones de MP₁₀ de la comuna i en el periodo t , T^{PDA}_{it} es una variable *dummy* igual a 1 si la comuna i tiene implementado un PDA en el año t , $T^{PDAMP2,5}_{it}$ es una variable *dummy* igual a 1 si la ciudad i tiene implementado un PDA específicamente para MP_{2,5} en el año t , X_{it} son las variables explicativas o variables de control de la comuna i en el periodo t y u_{it} es el término de error de la ecuación. El parámetro que determina el impacto de un PDA es τ^{PDA}_{DID} y el parámetro que determina el impacto de un PDA para MP_{2,5} es $\tau^{PDAMP2,5}_{DID}$.

Para evaluar la robustez de los resultados se estimaron siete especificaciones. La primera especificación solo incluye la implementación de un PDA (sin distinguir el contaminante regulado, ya sea para MP₁₀ o MP_{2,5}), la segunda especificación además incluye una variable para la implementación de un PDA solo para MP_{2,5}, la tercera especificación incluye las variables anteriores y controla por temperatura, la cuarta especificación incluye las variables anteriores y controla por viento, la quinta especificación incluye las variables anteriores y controla por estacionalidad mensual, la sexta especificación incluye como control la variable de concentración de MP₁₀ del mes anterior, y la séptima especificación incluye como variable de control adicional el número de meses desde que se implementó el PDA.

RESULTADOS

En los resultados de la Tabla A3 se observa que la variable asociada a la implementación de un PDA (independiente del contaminante regulado ya sea MP₁₀ o MP_{2,5}) no es estadísticamente significativa en todas las especificaciones, incluso se observan signos contrarios al esperado. Sin embargo, los resultados muestran que la implementación de un PDA para MP_{2,5} sí tiene un impacto negativo y significativo, el cual es robusto en las especificaciones que incluyen la variable dependiente rezagada, pero su impacto es acotado ya que a pesar de los grandes recursos involucrados en la implementación de este tipo de instrumento de gestión ambiental solo reduce las concentraciones promedio mensuales de MP₁₀ entre 1,23 y 3,83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dependiendo del número de variables de control incluidas en cada especificación, lo cual equivale aproximadamente a una reducción de entre un 2% y 5% de las concentraciones promedio en las comunas incluidas en la base de datos. En el

modelo con más variables de control la reducción es de $2,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} como promedio mensual mientras que la estimación del AGIES de Temuco y Padre Las Casas asumía una reducción de $8,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cabe señalar que el impacto estimado corresponde a los primeros años de funcionamiento del PDA, ya que los planes fueron implementados a partir del año 2013 y 2015 mientras que los datos utilizados solo abarcan hasta el año 2017. Por otra parte, el impacto de las variables meteorológicas de temperaturas y viento no es robusto a las diversas especificaciones. También, pareciera ser relevante la inclusión del nivel de concentraciones de MP_{10} del mes previo. Finalmente, se observa una marcada estacionalidad mensual de las concentraciones entre los meses de otoño e invierno.

Los resultados anteriores muestran que la implementación de un PDA en una zona saturada aunque reduce las concentraciones promedio, no ha sido suficientemente efectiva en su diseño o ejecución para generar una caída importante en el nivel de contaminación. Esto también refuerza la idea de mejorar los supuestos de las evaluaciones ex - ante (Análisis General del Impacto Económico y Social) que parecieran ser demasiado optimistas en la efectividad de las medidas incluidas en los PDA. Un resumen de los principales resultados obtenidos y cuadro comparativo con las estimaciones ex - ante utilizadas en el AGIES se presentan en la Tabla A4.

Tabla A3. Resultados de evaluación ex - post PDA como programa consolidado sobre las emisiones de MP₁₀

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7
<i>pda</i>	-1,437 [2,388]	9,007 ** [1,075]	7,804 ** [1,595]	6,979 ** [1,844]	-0,248 [1,965]	0,554 [1,201]	0,472 [1,410]
<i>pdamp25</i>		-11,52 ** [1,075]	-4,685 [2,931]	-4,561 [2,902]	-4,694 [2,441]	-2,325 * [0,869]	-2,527 ** [0,652]
<i>temperatura</i>			-4,695 * [1,517]	-5,074 * [1,417]	1,936 [1,802]	0,824 [1,111]	0,808 [1,169]
<i>viento</i>				1,472 [5,472]	3,712 [3,347]	-4,5 [3,183]	-4,511 [3,192]
<i>febrero</i>					3,732 [2,636]	0,362 [1,684]	0,342 [1,672]
<i>marzo</i>					15,54 * [5,759]	7,058 [2,969]	7,007 [3,136]
<i>abril</i>					47,22 ** [11,82]	29,03 ** [4,136]	28,94 ** [4,160]
<i>mayo</i>					77,14 ** [14,96]	42,73 ** [4,216]	42,61 ** [4,428]
<i>junio</i>					86,68 ** [15,67]	35,69 ** [9,449]	35,52 * [10,11]
<i>julio</i>					91,2 ** [18,52]	37,41 ** [7,335]	37,23 ** [7,888]
<i>agosto</i>					68,21 ** [17,19]	15,79 [7,773]	15,63 [8,421]
<i>septiembre</i>					44,21 * [14,98]	5,419 [9,214]	5,285 [9,685]
<i>octubre</i>					20,69 [11,21]	-3,458 [7,280]	-3,557 [7,712]
<i>noviembre</i>					8,29 [7,241]	-1,209 [4,443]	-1,265 [4,665]
<i>diciembre</i>					3,382 [3,642]	0,56 [1,583]	0,537 [1,668]
<i>mp10 (t-1)</i>						0,551 ** [0,0821]	0,551 ** [0,0828]
<i>meses desde pda</i>							0,0151 [0,0828]
<i>constante</i>	60,03 ** [0,857]	59,42 ** [0,679]	117,1 ** [18,76]	119,5 ** [23,91]	-9,598 [32,70]	10,21 [23,17]	10,51 [23,92]
<i>Observaciones</i>	660	660	635	609	609	594	594
<i>R2</i>	0	0,004	0,359	0,388	0,575	0,713	0,713

Fuente: Elaboración propia. Nota: Errores estándar robustos en los paréntesis. (*) Significativo al 5% y (**) significativo al 1%

Tabla A4. Resumen de resultados de la evaluación ex - post del PDA como programa consolidado

Tratamiento	Impacto estimado	Robustez de impacto	Valor de impacto recomendado	Intervalo de confianza al 95%	Supuesto ex - ante de AGIES
Aplicación de PDA para M _{2,5}	Reducción de 2,53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el modelo con más variables de control.	Sí, cuando se incluye la variable dependiente rezagada.	2,53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	[1,23 ; 3,83] $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Reducción de 8,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ al segundo año de implementación del PDA de Temuco y Padre Las Casas (Fuente: MMA, 2014)

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

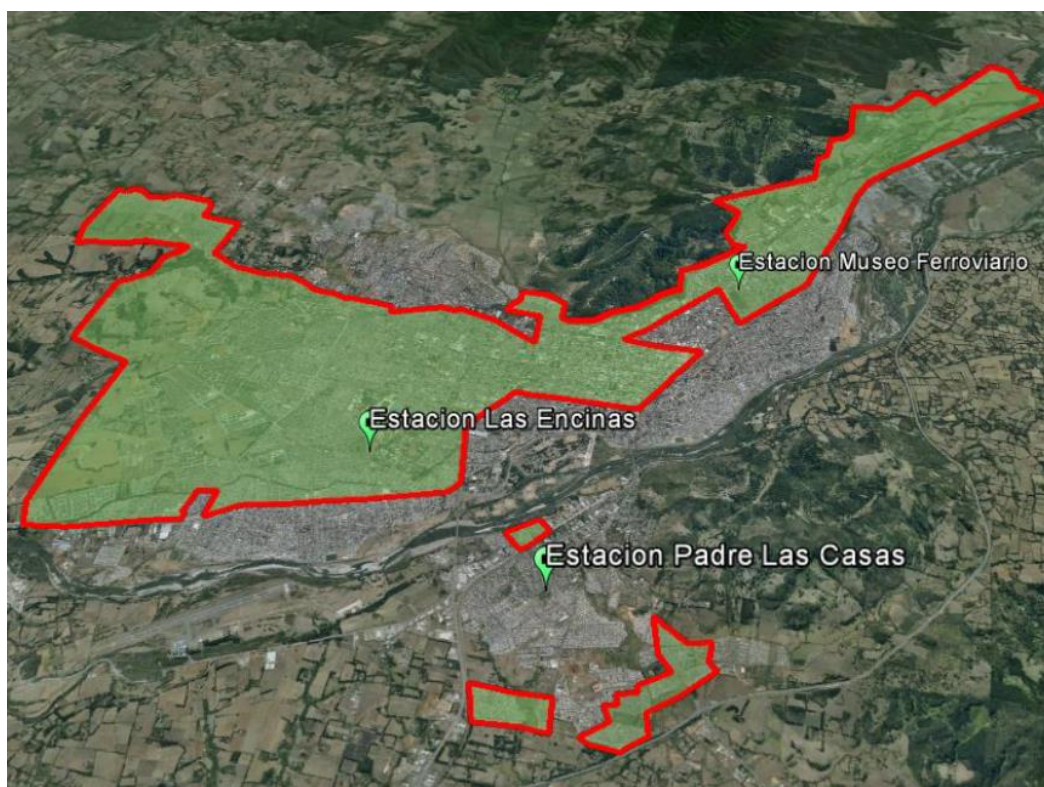
Para determinar el impacto del PDA como un programa consolidado se utilizó una base de datos de panel con los niveles de concentraciones mensuales de MP₁₀ y características meteorológicas como variables de control. La metodología de diferencias en diferencias fue seleccionada para identificar el impacto de este programa, demostrando que el nivel de concentraciones con periodicidad mensual ha disminuido producto de la aplicación de este instrumento de gestión ambiental. Específicamente, la implementación de un PDA (independiente del contaminante regulado ya sea MP₁₀ o MP_{2,5}) es estadísticamente significativa en tres especificaciones que no incluyen todas las variables de control, mientras que la implementación de un PDA para MP_{2,5} sí tiene un impacto negativo y significativo cuando se incluye la variable dependiente rezagada, reduciendo las concentraciones promedio mensuales de MP₁₀ en 2,53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Este impacto ex – post es menos de un tercio que la reducción estimada al segundo año de implementación del PDA de Temuco y Padre Las Casas con una evaluación ex – ante que estimó una reducción de 8,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Fuente: MMA, 2014). Los resultados anteriores muestran que la implementación de un PDA en una zona saturada reduce las concentraciones promedio, pero no ha sido de una magnitud importante en los primeros años de su aplicación. Así, se concluye que los supuestos de las evaluaciones ex - ante (Análisis General del Impacto Económico y Social) son demasiado optimistas sobre la efectividad de algunas medidas incluidas en estos PDA.

ANEXO A.II: EVALUACIÓN EX – POST DEL PROGRAMA DE GESTIÓN DE EPISODIOS CRÍTICOS

INTRODUCCIÓN

El programa de Gestión de Episodios Críticos es implementado por la SEREMI del Medio Ambiente de la Región de La Araucanía para enfrentar los episodios de alta contaminación del aire en ciertas zonas geográficas de Temuco y Padre Las Casas, durante el periodo comprendido entre el 1° de abril y 30 de septiembre de cada año (ver Figura A6).

Figura A6. Polígonos de Alerta Sanitaria y Estaciones de Monitoreo en Temuco y Padre Las Casas



Fuente: SEREMI del Medioambiente Región de La Araucanía

Actualmente, este programa en situación de pre - emergencia prohíbe el uso de más de un artefacto a leña por vivienda, humos visibles y calderas a leña con potencia térmica nominal menor a 75 kWt entre las 18:00 y las 6:00 hrs, mientras que en situación de emergencia prohíbe el uso de cualquier artefacto a leña y caldera a leña con potencia térmica nominal menor a 75 kWt entre las 18:00 y las 6:00 hrs.

La Tabla A5 muestra los días en los cuales se han implementado prohibiciones de uso de leña por pronóstico de pre – emergencia o emergencia ambiental, estos datos fueron

solicitados a través de la ley de Transparencia a la SEREMI de Salud de la Región de La Araucanía.

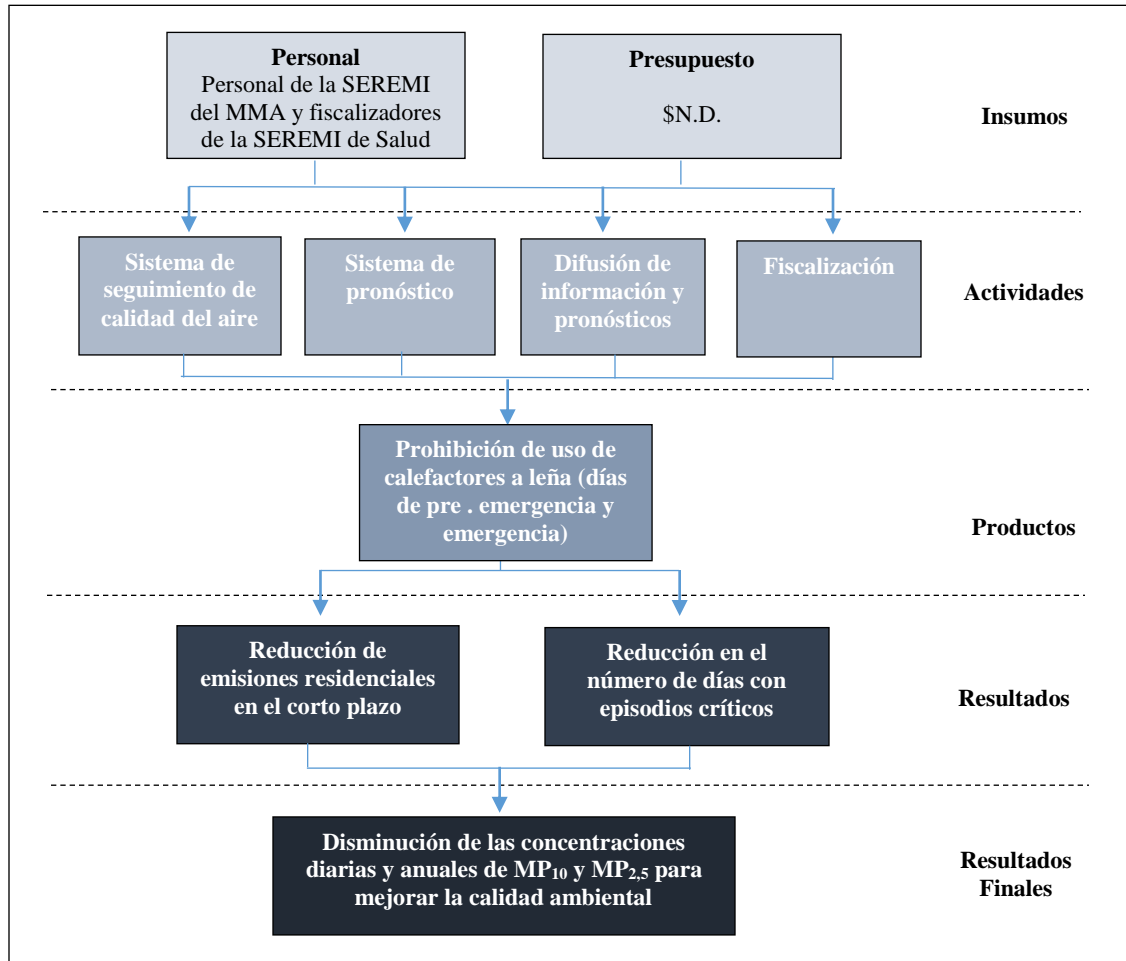
Tabla A5. Días de gestión de episodios críticos en Temuco y Padre Las Casas

Año	Emergencia	Pre - emergencia	Total
2013	7 días	16 días	23 días
2014	4 días	19 días	23 días
2015	12 días	21 días	33 días
2016	31 días	34 días	65 días

Fuente: SEREMI de Salud de la Región de La Araucanía

El efecto esperado del programa es la reducción significativa de las concentraciones de material particulado en los días y horarios de implementación de episodios críticos. En consecuencia, la evaluación ex - post del programa busca determinar si al condicionar por otros factores el valor promedio de las concentraciones horarias de material particulado no es diferente luego de la aplicación de la prohibición de uso de calefactores. La cadena de resultados de este programa se puede definir por la siguiente secuencia lógica.

Figura A7. Representación gráfica de la teoría del cambio de programa de gestión de episodios críticos



Fuente: Elaboración propia

Para esta evaluación son relevantes las estaciones de monitoreo ubicadas en áreas geográficas con y sin prohibición (dentro o fuera de los polígonos delimitados por las líneas rojas de la Figura A6) durante los episodios críticos, para las cuales existen mediciones de concentraciones de material particulado en forma continua y por un prolongado periodo de tiempo, ya que la variable de resultado de interés es el nivel de concentraciones con periodicidad horaria. Como los datos disponibles para el grupo de tratamiento y control están disponibles a nivel horario se propone para la identificación del impacto del programa una metodología cuasi-experimental de diferencias en diferencias para aprovechar la estructura de datos de panel. Cabe señalar, que esta estrategia de identificación se puede realizar porque la zona de Temuco y Padre Las Casas fue dividida en polígonos con y sin prohibición por razones que no se fundamentan en aspectos técnicos, y además, afortunadamente existen estaciones de monitoreo localizadas en ambas zonas. Específicamente, existen dos estaciones de monitoreo en el área con prohibición en la

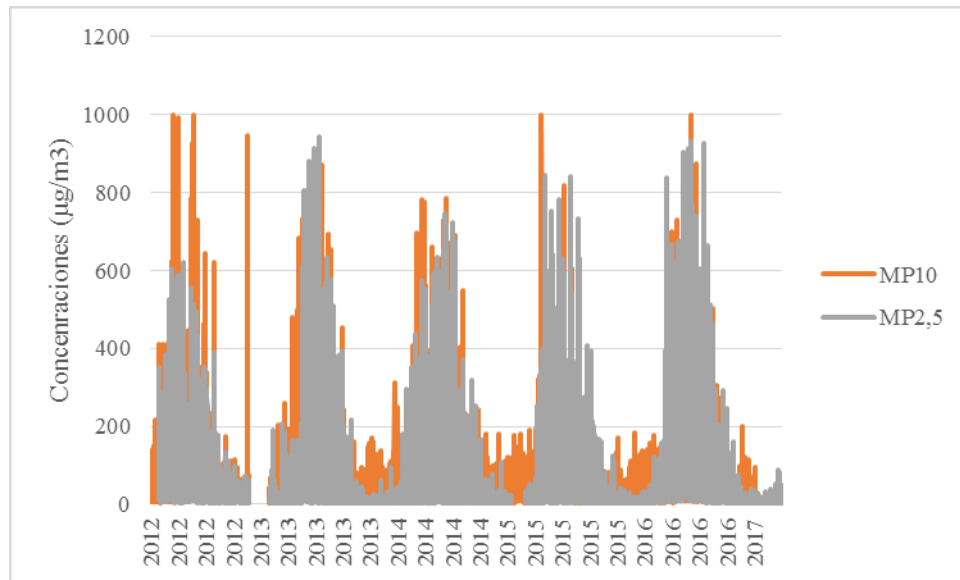
comuna de Temuco y una estación de monitoreo fuera del área de prohibición en la comuna de Padre Las Casas.

Dentro de las limitaciones de esta evaluación se puede mencionar que aun cuando se trató de incluir información de tres variables meteorológicas (temperatura, viento y precipitaciones), la falta de datos completos limitó su incorporación total. Además, la metodología de diferencias en diferencias propuesta para identificar el impacto no permite extrapolar los resultados de aplicar prohibiciones por episodios críticos en una zona geográfica diferente a las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

DATOS

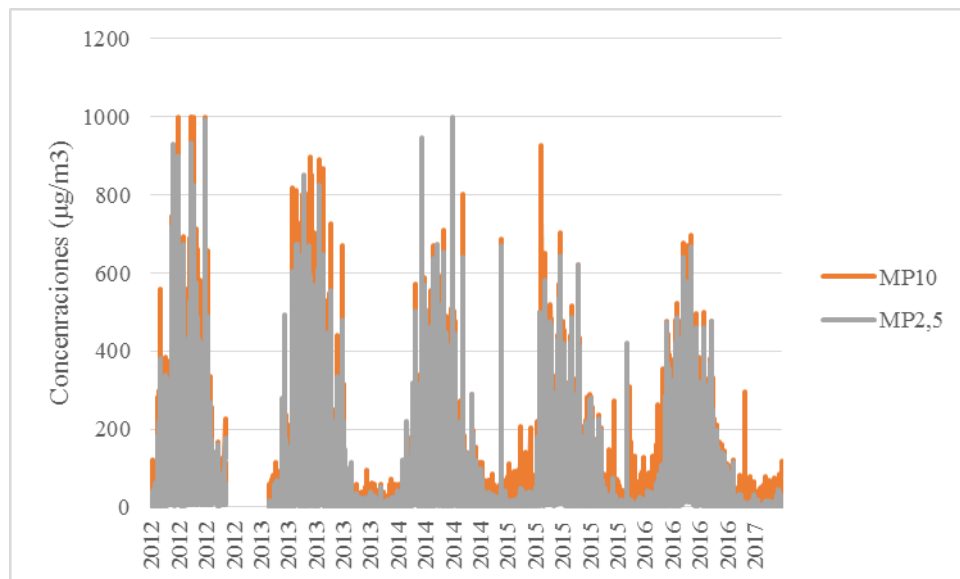
La variable de resultado se define como el nivel de concentraciones con periodicidad horaria en las estaciones de monitoreo que se encuentran dentro y fuera del polígono donde se establece la restricción de uso de leña. Específicamente, la estación de monitoreo Museo Ferroviario tiene datos desde el año 2004 para MP_{10} y la estación de monitoreo Las Encinas tiene datos disponibles desde el año 2009 para MP_{10} , a su vez ambas estaciones tienen datos desde el año 2009 para el $MP_{2,5}$, mientras que los datos de la estación de monitoreo Padre Las Casas II utilizados como grupo de control solo están disponibles desde marzo del año 2012, por lo cual el periodo de análisis es a partir de marzo del año 2012. Cabe señalar que solo se incluyen observaciones horarias en los periodos para los cuales hay disponibilidad de datos originales. A continuación se presentan los datos de concentraciones horarias para las estaciones de monitoreo Museo Ferroviario (ver Figura A8), las Encinas (ver Figura A9) y Padre Las Casas II (ver Figura A10).

Figura A8. Datos horarios de concentraciones para MP_{2,5} y MP₁₀ en Estación Museo Ferroviario



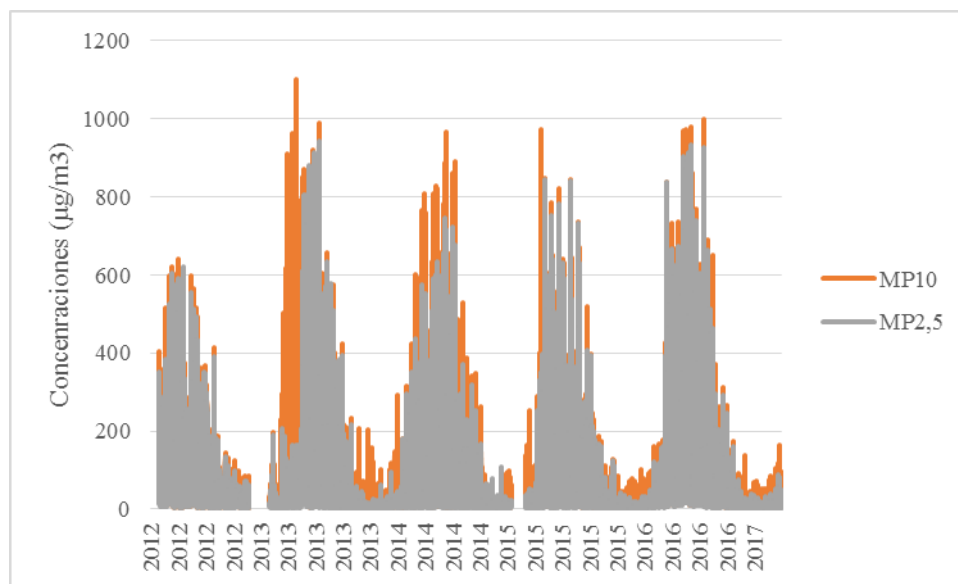
Fuente: Elaboración propia en base a SINCA

Figura A9. Datos horarios de concentraciones para MP_{2,5} y MP₁₀ en Estación Las Encinas



Fuente: Elaboración propia en base a SINCA

Figura A10. Datos horarios de concentraciones para MP_{2,5} y MP₁₀ en Estación Padre Las Casas II



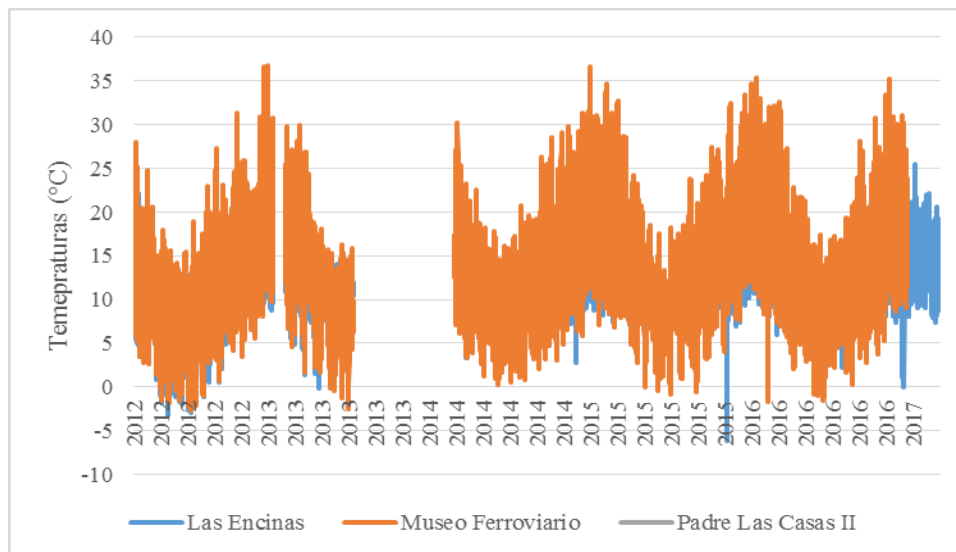
Fuente: Elaboración propia en base a SINCA

La variable de tratamiento corresponde a una variable dicotómica que adopta el valor uno si en un día y hora determinada se decretó un episodio crítico en una estación de monitoreo ubicada en una zona con restricción. La variable de tratamiento adopta el valor cero si en un día y hora determinada no se decretó episodio crítico en una zona incluida en la restricción, y además, la variable de tratamiento adopta un valor cero en cualquier día y hora si la estación de monitoreo está localizada en una zona sin restricción. También, se incluye una desagregación de la variable de tratamiento en dos nuevas variables, una para identificar los episodios de emergencia y otra para episodios de pre – emergencia.

Las variables meteorológicas dentro de una misma zona urbana deberían ser muy similares, pero pequeñas diferencias sistemáticas entre localizaciones específicas permitirían controlar factores que pueden influenciar los niveles de concentraciones de material particulado. En el caso de la evaluación ex – post del programa de gestión de episodios críticos del PDA de Temuco y Padre Las Casas, la información meteorológica que se requiere es horaria debido a que las prohibiciones de utilización de calefactores a leña se realizan en ciertas horas del día en el cual se decreta un episodio crítico.

La Figura A11 muestra las temperaturas horarias, observándose que existe un periodo sin datos en todas las estaciones de monitoreo para algunos meses entre el año 2013 y 2014.

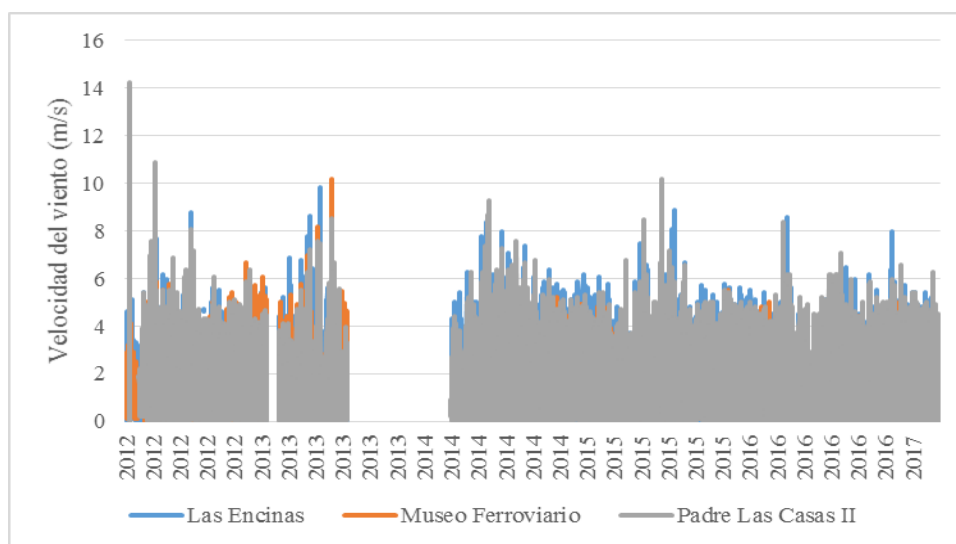
Figura A11. Temperaturas horarias en estaciones de monitoreo de Temuco y Padre Las Casas



Fuente: Elaboración propia en base a SINCA

La Figura A12 muestra los datos de velocidad del viento. En este caso la disponibilidad de datos es muy similar a la reportada en la figura anterior para las temperaturas, y también, existe un periodo sin datos en todas las estaciones para algunos meses entre el año 2013 y 2014.

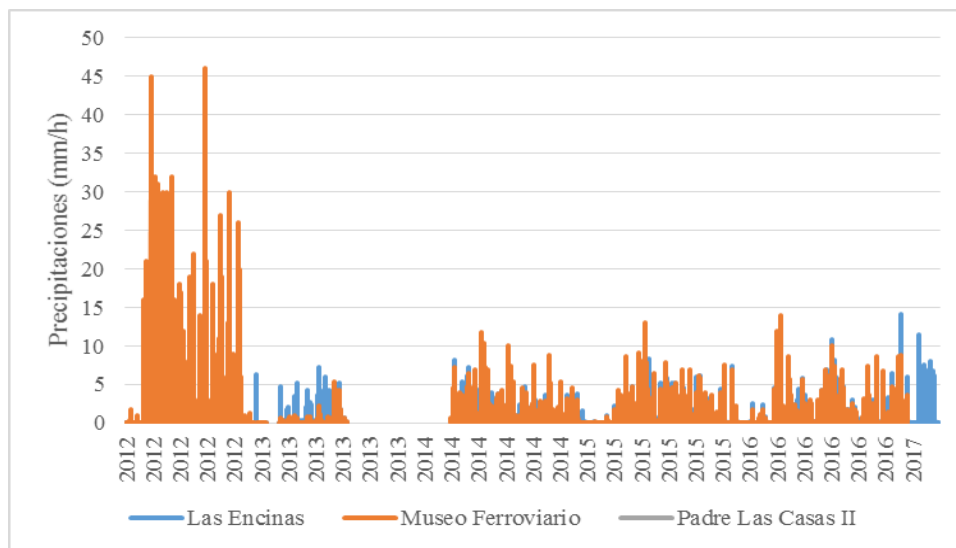
Figura A12. Velocidad del viento horaria en estaciones de monitoreo de Temuco y Padre Las Casas



Fuente: Elaboración propia en base a SINCA

La Figura A13 muestra que la información histórica de las precipitaciones en las estaciones Las Encinas, Museo Ferroviario y Padre Las Casas II también tiene ausencia de datos en algunos meses de los años 2013 y 2014.

Figura A13. Precipitaciones horarias en estaciones de monitoreo de Temuco y Padre Las Casas



Fuente: Elaboración propia en base a SINCA

A partir de la información previamente mencionada se construyó una base de datos de panel con periodicidad horaria para la evaluación de este programa, la cual se basa en información secundaria obtenida del SINCA para mediciones de concentraciones de MP_{10} y $MP_{2,5}$, así como también, variables meteorológicas (viento, precipitaciones y temperatura) en tres estaciones de monitoreo localizadas en Temuco y Padre Las Casas. Además, incluye tres variables *dummies* que reflejan el anuncio de un día de episodio crítico (emergencia o pre-emergencia), un día de emergencia y un día de pre-emergencia ambiental, lo anterior para reflejar que es un día con pronóstico de altas concentraciones de contaminación en toda la cuenca de Temuco y Padre Las Casas. También, se incluyen tres variables *dummies* que reflejan la prohibición solo en zona regulada durante un día de episodio crítico (emergencia o pre-emergencia), un día de emergencia y un día de pre-emergencia ambiental. Todas estas variables *dummies* previamente mencionadas adoptan un valor igual a uno solo en el horario bajo prohibición y cero en otro caso. El periodo de tiempo comprende desde la 1:00 am del día 22 de Marzo del año 2012 hasta las 23:00 horas del día 21 de Marzo del año 2017.

La Tabla A6 presenta la estadística descriptiva de las variables disponibles en la base de datos. Se observa que las concentraciones horarias de MP_{10} y $MP_{2,5}$ no están completamente disponibles en todo el periodo pero que el número de observaciones de ambas es relativamente similar, por lo cual se puede estimar el impacto de este programa

para ambos contaminantes. Aunque el promedio de estas concentraciones es $56,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP_{10} y $38,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $\text{MP}_{2,5}$, sus niveles máximos han alcanzado incluso sobre los $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en algunas horas del día.

Aunque aparentemente las variables meteorológicas están disponibles en un número relativamente similar, al desagregar por estación de monitoreo se concluye que los datos de temperatura solo están disponibles en un 23,9% en la estación utilizada como grupo de control, mientras que en un 79,5% y 81,1% en las estaciones utilizadas como grupo de tratamiento. En consecuencia, aun cuando se incluirá una especificación con todas las variables meteorológicas es necesario tener en cuenta que se estará evaluando un periodo más corto de tiempo cuando se incluye como control la variable temperatura.

Por otra parte, han existido 4518 horas con anuncio de episodio crítico que representa un 3,4% del periodo analizado, 1818 horas con anuncio de emergencia que representa un 1,4% del periodo analizado y 2700 horas con anuncio de pre - emergencia que representa un 2,1% del periodo analizado.

Tabla A6. Estadística descriptiva base de datos para evaluación ex - post del programa de gestión de episodios críticos

Variable	Observaciones	Promedio	Desv. Est.	Mínimo	Máximo
<i>mp10</i>	116011	56,834	80,268	0,900	1101,000
<i>mp25</i>	118843	38,686	71,284	0,100	1000,000
<i>anuncio episodio crítico</i>	131469	0,034	0,182	0,000	1,000
<i>anuncio emergencia</i>	131469	0,014	0,117	0,000	1,000
<i>anuncio pre-emergencia</i>	131469	0,021	0,142	0,000	1,000
<i>prohibición episodio crítico</i>	131469	0,023	0,150	0,000	1,000
<i>prohibición emergencia</i>	131469	0,009	0,096	0,000	1,000
<i>prohibición pre-emergencia</i>	131469	0,014	0,116	0,000	1,000
<i>viento</i>	100927	1,556	1,222	0,000	14,240
<i>temperatura</i>	80834	11,982	4,982	-6,100	36,808
<i>precipitaciones</i>	96568	0,156	0,948	0,000	46,000

Fuente: Elaboración propia

METODOLOGIA

El estimador de diferencias en diferencias (DID) compara la diferencia en el efecto promedio para el grupo de tratamiento antes y después del tratamiento con respecto a la diferencia en el efecto promedio para el grupo de control antes y después de la fecha en la cual se aplicó el tratamiento. Lo anterior, permite obtener el efecto promedio del tratamiento en el grupo tratado (conocido como *Average Treatment Effect on Treated*, ATT).

El método diferencias en diferencias implementado a través de una regresión de datos de panel con efecto fijo estima el efecto promedio en las concentraciones horarias de MP₁₀ o MP_{2,5} si se aplica una prohibición por episodio crítico (independiente del tipo de episodio emergencia o pre-emergencia), eliminando factores no observables que permanecen constantes entre estaciones de monitoreo y efectos no observables individuales en cada estación de monitoreo.

Para estimar el impacto del programa sobre las concentraciones de MP₁₀ o MP_{2,5} se genera la siguiente regresión:

$$C_{it} = \alpha + \beta \cdot X_{it} + \tau^{EC} \cdot DID \cdot T_{it} + u_{it} \quad (A2)$$

Donde C_{it} corresponde a las concentraciones horarias de MP_{2,5} o MP₁₀ de la estación de monitoreo i en el periodo horario t , T_{it}^{EC} es una variable *dummy* igual a 1 si la estación de monitoreo i está bajo una prohibición de episodio crítico en el periodo horario t , X_{it} son las variables explicativas o variables de control de la estación de monitoreo i en el periodo t y u_{it} es el término de error de la ecuación. El parámetro que determina el impacto de la prohibición por episodio crítico es τ^{EC} , el cual puede ser calculado como la diferencia del cambio observado antes y después en el grupo de tratamiento y el grupo de control.

Para evaluar la robustez de los resultados se estimaron seis especificaciones de modelos para cada tipo de contaminante. La primera especificación solo incluye como variable explicativa el anuncio y la prohibición de un episodio crítico (emergencia o pre-emergencia), la segunda especificación además incluye variables *dummies* para cada hora del día, la tercera especificación incluye las variables anteriores y controla por viento, la cuarta especificación incluye las variables anteriores y controla por precipitaciones, la quinta especificación incluye las variables anteriores y controla por temperatura, y la sexta especificación además incluye como control la variable de concentración de la hora anterior.

RESULTADOS

La Tabla A7 muestra los resultados asociados al contaminante MP₁₀, observándose que la variable asociada a la prohibición durante un episodio crítico (independiente del tipo de episodio) es estadísticamente significativa en todas las especificaciones, generando aproximadamente una reducción entre 15 y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP₁₀. Sin embargo, el impacto estimado es menor en valor absoluto en la especificación del modelo 5, lo cual se puede explicar por la inclusión de la variable temperatura que reduce bastante el número de observaciones. En estos modelos se aprecia un efecto significativo y negativo sobre las concentraciones durante las horas de la madrugada, y también, un efecto significativo y positivo durante las horas de la tarde o noche, evidenciando los patrones de uso de leña durante el día. Por otro lado, se aprecia un efecto negativo y significativo de la velocidad del viento, lo cual es consistente con su capacidad para diluir los contaminantes en el aire,

mientras que la temperatura solo tiene un efecto negativo y significativo en el último modelo, lo que parece razonable debido a que mayores temperaturas deberían reducir el uso de leña. Finalmente, cabe destacar que la última especificación estimada que incluye un componente rezagado de la contaminación horaria es el modelo que tiene el más alto R^2 .

La Tabla A8 muestra resultados muy similares para todas las variables explicativas pero asociados al contaminante $MP_{2,5}$. En este caso la variable asociada a la prohibición durante un episodio crítico (independiente del tipo de episodio) es estadísticamente significativa en todas las especificaciones, generando aproximadamente una reducción entre 10 y 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $MP_{2,5}$. Este resultado es bastante razonable relativo a los estimados en la Tabla A7 para el MP_{10} ya que en la zona sur de Chile una fracción muy importante del MP_{10} es $MP_{2,5}$.

Los resultados anteriores muestran que la implementación de la prohibición por episodio crítico es efectiva para reducir la contaminación en el corto plazo, lo cual concuerda con los bajos niveles de incumplimiento de esta regulación. Esto también refuerza la idea de ampliar esta medida del PDA de Temuco y Padre Las Casas en otras zonas del país con problemáticas similares.

Tabla A7. Resultados de evaluación ex - post de prohibición por episodio crítico de programa GEC sobre las concentraciones horarias de MP₁₀

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
<i>anuncio episodio crítico</i>	150.5 ** [3.55e-08]	139.2 ** [1.960]	100.3 ** [0.391]	110.2 ** [2.852]	71.48 ** [5.632]	37.02 ** [1.251]
<i>prohibición episodio crítico</i>	-49.27 ** [1.361]	-49.25 ** [1.420]	-27.49 ** [1.392]	-38.94 ** [1.798]	-15.23 * [3.067]	-30.87 ** [1.814]
<i>hora 01:00</i>		-13.57 ** [1.127]	-13.33 ** [0.237]	-13.93 ** [0.952]	-15.57 ** [1.273]	-5.042 ** [0.252]
<i>hora 02:00</i>		-25.13 ** [2.231]	-23.74 ** [0.868]	-24.82 ** [1.754]	-28.20 ** [2.722]	-6.426 ** [1.720]
<i>hora 03:00</i>		-34.34 ** [1.936]	-33.51 ** [2.098]	-35.31 ** [2.242]	-39.79 ** [3.098]	-6.981 * [0.971]
<i>hora 04:00</i>		-41.20 ** [2.218]	-40.53 ** [2.705]	-42.74 ** [2.870]	-48.57 ** [4.000]	-6.365 * [0.941]
<i>hora 05:00</i>		-44.53 ** [2.100]	-44.25 ** [3.559]	-47.34 ** [3.226]	-54.51 ** [4.773]	-5.106 * [0.874]
<i>hora 06:00</i>		-33.43 * [4.109]	-34.51 * [5.880]	-39.77 * [4.056]	-48.89 * [6.016]	0.744 * [1.072]
<i>hora 07:00</i>		-25.42 * [5.489]	-24.87 * [6.653]	-30.44 * [3.907]	-38.24 * [5.754]	7.496 ** [0.543]
<i>hora 08:00</i>		-19.12 * [5.104]	-14.51 * [6.322]	-19.88 * [3.600]	-23.72 * [5.488]	10.89 ** [0.533]
<i>hora 09:00</i>		-18.94 * [4.712]	-9.726 * [5.159]	-15.18 * [3.514]	-13.21 * [5.337]	7.876 ** [1.003]
<i>hora 10:00</i>		-21.92 * [4.710]	-8.708 * [3.969]	-13.87 * [3.876]	-5.541 * [5.160]	6.897 * [1.335]
<i>hora 11:00</i>		-24.94 * [4.398]	-8.722 * [3.536]	-14.25 * [3.420]	0.301 * [4.012]	7.348 * [0.858]
<i>hora 12:00</i>		-28.31 * [4.311]	-9.377 * [2.732]	-14.88 * [3.839]	4.783 * [3.501]	8.588 ** [0.674]
<i>hora 13:00</i>		-30.82 * [4.626]	-9.722 * [2.588]	-15.31 * [4.168]	8.313 * [3.133]	10.19 ** [0.401]
<i>hora 14:00</i>		-31.28 * [5.074]	-9.006 * [2.701]	-14.82 * [4.299]	11.13 * [3.026]	12.43 ** [0.330]
<i>hora 15:00</i>		-29.48 * [5.677]	-5.269 * [3.046]	-11.38 * [4.230]	14.73 * [3.117]	15.69 ** [0.483]
<i>hora 16:00</i>		-24.83 * [6.725]	0.107 * [3.994]	-6.283 * [4.040]	17.62 * [3.793]	17.96 ** [0.556]
<i>hora 17:00</i>		-15.63 * [7.554]	8.202 * [6.708]	0.440 * [3.909]	19.63 * [4.330]	22.75 ** [1.038]
<i>hora 18:00</i>		-3.086 * [8.958]	16.58 * [8.904]	10.10 * [3.855]	23.87 * [3.167]	29.84 ** [2.985]
<i>hora 19:00</i>		12.65 * [10.19]	26.75 * [9.059]	21.57 * [5.374]	29.59 * [3.554]	28.19 ** [1.891]
<i>hora 20:00</i>		20.82 * [10.19]	30.39 * [8.820]	26.19 * [6.235]	30.93 * [4.384]	22.09 ** [0.583]
<i>hora 21:00</i>		23.30 * [8.497]	29.99 * [7.447]	25.43 * [4.106]	27.94 ** [2.480]	16.92 ** [0.460]
<i>hora 22:00</i>		17.24 * [5.829]	20.51 * [5.163]	17.70 * [3.180]	19.35 * [1.978]	9.898 * [1.240]
<i>hora 23:00</i>		11.40 * [2.944]	12.56 * [2.397]	11.43 * [1.809]	12.01 ** [0.950]	7.220 * [0.912]
<i>viento</i>			-19.59 ** [0.576]	-19.71 ** [0.999]	-15.90 * [1.907]	-5.746 * [0.814]
<i>precipitaciones</i>				-0.530 [1.089]	-2.684 [0.926]	-0.449 [0.106]
<i>temperatura</i>					-5.278 [1.391]	-0.924 [0.199]
<i>mp10 (t-1)</i>						0.823 ** [0.0148]
<i>constante</i>	52.27 ** [0.0351]	68.50 ** [3.933]	89.75 ** [3.556]	95.03 ** [1.929]	146.1 * [17.69]	20.55 * [2.386]
<i>Observaciones</i>	116011	116011	93160	77355	71546	70864
<i>R2</i>	0.083	0.143	0.201	0.188	0.243	0.770

Fuente: Elaboración propia. Nota: Errores estándar robustos en los paréntesis. (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Tabla A8. Resultados de evaluación ex - post de prohibición por episodio crítico del programa GEC sobre las concentraciones horarias de MP_{2,5}

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
<i>anuncio episodio crítico</i>	144.2	95.29 **	95.29 **	84.84 **	68.89 **	34.97 **
<i>prohibición episodio crítico</i>	-40.97 **	[1.024]	[1.024]	[1.409]	[4.212]	[0.904]
<i>hora 01:00</i>	[3.212]	-19.47 *	-19.47 *	-10.46	-11.98	-27.51 **
<i>hora 02:00</i>		[3.526]	[3.526]	[3.806]	[1.748]	[1.224]
<i>hora 03:00</i>		-12.20 **	-12.20 **	-12.78 **	-14.90 **	-4.793 *
<i>hora 04:00</i>		[0.678]	[0.678]	[0.592]	[0.970]	[0.657]
<i>hora 05:00</i>		-21.15 **	-21.15 **	-22.11 **	-26.31 **	-5.579
<i>hora 06:00</i>		[0.995]	[0.995]	[0.974]	[2.059]	[1.395]
<i>hora 07:00</i>		-30.28 **	-30.28 **	-31.90 **	-37.77 **	-7.225 **
<i>hora 08:00</i>		[2.156]	[2.156]	[1.662]	[2.691]	[0.610]
<i>hora 09:00</i>		-36.70 **	-36.70 **	-38.72 **	-46.29 **	-6.842 *
<i>hora 10:00</i>		[2.632]	[2.632]	[2.517]	[3.996]	[0.913]
<i>hora 11:00</i>		-39.93 **	-39.93 **	-42.65 **	-51.56 **	-5.217 **
<i>hora 12:00</i>		[3.232]	[3.232]	[2.447]	[4.223]	[0.208]
<i>hora 13:00</i>		-32.75 *	-32.75 *	-37.35 **	-47.89 *	-1.630
<i>hora 14:00</i>		[4.905]	[4.905]	[3.243]	[5.371]	[0.741]
<i>hora 15:00</i>		-26.76 *	-26.76 *	-31.67 *	-40.32 *	3.579
<i>hora 16:00</i>		[5.519]	[5.519]	[3.440]	[5.386]	[1.044]
<i>hora 17:00</i>		-18.49	-18.49	-23.46 *	-27.52 *	7.531 **
<i>hora 18:00</i>		[5.418]	[5.418]	[3.172]	[5.358]	[0.511]
<i>hora 19:00</i>		-14.26	-14.26	-19.30 *	-16.96	5.945 **
<i>hora 20:00</i>		[5.012]	[5.012]	[2.814]	[5.281]	[0.357]
<i>hora 21:00</i>		-12.77	-12.77	-17.35 *	-7.813	6.472 **
<i>hora 22:00</i>		[3.943]	[3.943]	[2.683]	[5.081]	[0.568]
<i>hora 23:00</i>		-13.36	-13.36	-18.21 *	-1.566	6.297 *
<i>hora 00:00</i>		[3.779]	[3.779]	[2.610]	[5.028]	[0.932]
<i>hora 01:00</i>		-14.22 *	-14.22 *	-19.13 *	3.238	7.563 **
<i>hora 02:00</i>		[3.222]	[3.222]	[2.452]	[4.254]	[0.321]
<i>hora 03:00</i>		-14.57 *	-14.57 *	-19.58 *	7.274	9.577 **
<i>hora 04:00</i>		[3.239]	[3.239]	[2.474]	[3.784]	[0.502]
<i>hora 05:00</i>		-14.68	-14.68	-20.03 *	9.531	10.73 **
<i>hora 06:00</i>		[3.506]	[3.506]	[2.411]	[3.254]	[0.0445]
<i>hora 07:00</i>		-12.67	-12.67	-18.21 *	11.66	12.84 **
<i>hora 08:00</i>		[3.786]	[3.786]	[2.375]	[2.943]	[0.145]
<i>hora 09:00</i>		-9.204	-9.204	-15.07 *	12.25	15.00 **
<i>hora 10:00</i>		[4.492]	[4.492]	[1.837]	[2.904]	[0.226]
<i>hora 11:00</i>		-2.636	-2.636	-9.559	12.99	19.84 **
<i>hora 12:00</i>		[5.717]	[5.717]	[1.965]	[3.516]	[0.755]
<i>hora 13:00</i>		4.349	4.349	-1.522	15.39 *	26.64 **
<i>hora 14:00</i>		[7.233]	[7.233]	[2.151]	[2.729]	[2.020]
<i>hora 15:00</i>		16.20	16.20	11.57	22.53 *	27.00 **
<i>hora 16:00</i>		[7.241]	[7.241]	[3.439]	[2.808]	[1.431]
<i>hora 17:00</i>		21.11	21.11	17.36	24.46 *	21.52 **
<i>hora 18:00</i>		[6.472]	[6.472]	[4.191]	[3.726]	[1.016]
<i>hora 19:00</i>		22.73	22.73	18.63 *	23.07 *	16.95 **
<i>hora 20:00</i>		[6.177]	[6.177]	[3.275]	[2.803]	[0.155]
<i>hora 21:00</i>		17.23 *	17.23 *	15.16 *	18.14 *	11.29 **
<i>hora 22:00</i>		[3.650]	[3.650]	[2.226]	[1.920]	[0.683]
<i>hora 23:00</i>		10.99 *	10.99 *	10.28 **	11.95 **	7.354 *
<i>viento</i>		[1.366]	[1.366]	[0.677]	[0.719]	[0.864]
<i>precipitaciones</i>		-17.64 **	-17.64 **	-17.92 **	-13.84 *	-5.110 *
<i>temperatura</i>		[0.845]	[0.845]	[1.040]	[1.944]	[0.780]
<i>mp25 (t-1)</i>				0.732	-1.607	-0.164
<i>constante</i>				[0.691]	[0.420]	[0.0318]
					-6.058 *	-1.138
					[1.153]	[0.118]
						0.813 **
						[0.00627]
	34.26 **	73.21 **	73.21 **	77.42 **	137.1 *	20.60 **
	[0.0812]	[4.517]	[4.517]	[0.377]	[14.11]	[0.139]
<i>Observaciones</i>	118843	95884	95884	80028	72924	72243
<i>R2</i>	0.101	0.221	0.221	0.207	0.310	0.782

Fuente: Elaboración propia. Nota: Errores estándar robustos en los paréntesis. (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

A continuación se presenta el mismo análisis previo pero ahora desagregando por tipo de episodio crítico. Este análisis es importante ya que permitirá evaluar si se requiere o no modificar el alcance de cada tipo de prohibición. Cabe recordar que en el caso de pre-emergencia se prohíbe el uso de más de un artefacto a leña mientras que en el caso de emergencia se prohíbe el uso de cualquier artefacto a leña.

La Tabla A9 muestra los resultados asociados al contaminante MP_{10} , observándose que la variable asociada a la prohibición durante un episodio de emergencia permite reducir las concentraciones en una magnitud mayor que durante un episodio de pre-emergencia. El efecto negativo de ambas medidas es estadísticamente significativo en todas las especificaciones, generando aproximadamente una reducción entre 40 y 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} durante una emergencia y una reducción entre 10 y 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} durante una pre-emergencia. Las variables de control utilizadas tienen efectos similares a los observados en la Tabla A7, y también, la última especificación estimada que incluye un componente rezagado de la contaminación horaria tiene el más alto R^2 .

La Tabla A10 muestra los resultados asociados al contaminante $MP_{2,5}$. En este caso la variable asociada a la prohibición durante un episodio de emergencia permite reducir las concentraciones entre 30 y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $MP_{2,5}$, mientras que la variable asociada a la prohibición durante un episodio de pre-emergencia permite reducir las concentraciones aproximadamente entre 7 y 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $MP_{2,5}$. Las variables de control utilizadas y R^2 estimados también tienen un comportamiento similar a los reportados en las tablas previas.

Los resultados obtenidos permiten concluir que para mejorar la efectividad de esta política se podría aplicar la misma prohibición durante un día de pre - emergencia respecto a la implementada en un día de emergencia, ya que la prohibición del uso de cualquier artefacto a leña contribuye más a la reducción de las concentraciones en el corto plazo.

Tabla A9. Resultados de evaluación ex - post de prohibición según tipo de episodio crítico del programa GEC sobre las concentraciones horarias de MP₁₀

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
<i>anuncio emergencia</i>	186.1 [1.46e-08]	** 175.0 [1.949]	** 132.9 [0.538]	** 189.4 [3.647]	** 124.8 [6.499]	** 59.29 [1.629]
<i>anuncio pre-emergencia</i>	126.5	** 115.0 [1.970]	** 78.16 [0.278]	** 83.54 [2.553]	** 18.50 [4.913]	** 14.84 [1.163]
<i>prohibición emergencia</i>	-63.63 [0.992]	** -63.59 [1.021]	** -38.33 [4.717]	** -96.41 [5.574]	** -54.12 [0.592]	** -50.70 [1.528]
<i>prohibición pre-emergencia</i>	-39.57 [1.524]	** -39.57 [1.602]	* -21.92 [2.615]	** -28.85 [2.376]	* 26.92 [5.664]	* -10.48 [2.167]
<i>hora 01:00</i>		** -13.57 [1.127]	** -13.37 [0.279]	** -13.92 [0.955]	** -15.55 [1.277]	** -5.043 [0.255]
<i>hora 02:00</i>		** -25.13 [2.231]	** -23.76 [0.870]	** -24.83 [1.778]	** -28.17 [2.729]	** -6.431 [1.722]
<i>hora 03:00</i>		** -34.33 [1.939]	** -33.47 [2.111]	** -35.32 [2.244]	** -39.76 [3.108]	* -6.989 [0.964]
<i>hora 04:00</i>		** -41.20 [2.221]	** -40.49 [2.709]	** -42.74 [2.867]	** -48.51 [4.013]	* -6.376 [0.941]
<i>hora 05:00</i>		** -44.52 [2.103]	** -44.27 [3.538]	** -47.36 [3.233]	** -54.46 [4.791]	* -5.119 [0.880]
<i>hora 06:00</i>		* -33.40 [4.112]	* -34.53 [5.857]	* -39.85 [4.072]	* -48.83 [6.037]	0.731 [1.069]
<i>hora 07:00</i>		* -25.39 [5.492]	* -24.91 [6.277]	* -30.53 [3.905]	* -38.20 [5.767]	7.483 [0.542]
<i>hora 08:00</i>		-19.09 [5.106]	-14.56 [6.293]	-19.98 [3.599]	-23.71 [5.485]	10.88 [0.532]
<i>hora 09:00</i>		-18.90 [4.713]	-9.783 [5.128]	-15.29 [3.560]	-13.24 [5.314]	7.862 [1.005]
<i>hora 10:00</i>		-21.89 [4.710]	* -8.778 [3.938]	-13.98 [3.953]	-5.622 [5.116]	6.879 [1.334]
<i>hora 11:00</i>		-24.91 [4.398]	* -8.803 [3.497]	-14.37 [3.520]	0.170 [3.948]	7.323 [0.857]
<i>hora 12:00</i>		-28.28 [4.310]	* -9.470 [2.687]	-15.01 [3.951]	4.611 [3.429]	8.558 [0.677]
<i>hora 13:00</i>		-30.78 [4.626]	* -9.822 [2.541]	-15.45 [4.282]	8.111 [3.052]	10.15 [0.391]
<i>hora 14:00</i>		-31.25 [5.074]	* -9.111 [2.652]	-14.97 [4.414]	10.91 [2.941]	12.39 [0.325]
<i>hora 15:00</i>		-29.45 [5.677]	* -5.382 [2.995]	-11.53 [4.347]	14.51 [3.029]	15.65 [0.468]
<i>hora 16:00</i>		-24.80 [6.725]	-0.00807 [3.947]	-6.434 [4.150]	17.41 [3.699]	17.92 [0.542]
<i>hora 17:00</i>		-15.49 [7.565]	8.123 [6.667]	0.280 [4.031]	19.53 [4.222]	22.74 [1.063]
<i>hora 18:00</i>		-3.026 [8.962]	16.49 [8.862]	9.871 [3.743]	23.73 [3.109]	29.81 [2.990]
<i>hora 19:00</i>		12.71 [10.19]	26.65 [8.995]	21.37 [5.232]	29.49 [3.525]	28.17 [1.896]
<i>hora 20:00</i>		20.87 [10.19]	30.26 [8.746]	25.96 [6.084]	30.85 [4.376]	22.08 [0.586]
<i>hora 21:00</i>		23.36 [8.508]	29.94 [7.421]	25.25 [3.963]	27.89 [2.466]	16.92 [0.460]
<i>hora 22:00</i>		17.31 [5.840]	20.48 [5.171]	17.56 [3.090]	19.30 [1.978]	9.896 [1.242]
<i>hora 23:00</i>		11.35 [2.937]	12.44 [2.331]	11.29 [1.707]	11.91 [0.893]	7.193 [0.894]
<i>viento</i>			-19.52 [0.563]	** -19.66 [0.991]	** -15.92 [1.918]	* -5.755 [0.819]
<i>precipitaciones</i>				-0.507 [1.081]	-2.653 [0.922]	-0.445 [0.105]
<i>temperatura</i>					-5.239 [1.401]	-0.919 [0.200]
<i>mp10 (t-1)</i>						0.823 [0.0150]
<i>constante</i>	52.27 [0.0338]	** 68.47 [3.934]	** 89.70 [3.553]	** 95.05 [1.981]	* 145.7 [17.77]	* 20.54 [2.421]
<i>Observaciones</i>	116011	116011	93160	77355	71546	70864
<i>R2</i>	0.086	0.146	0.204	0.191	0.244	0.770

Fuente: Elaboración propia. Nota: Errores estándar robustos en los paréntesis. (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Tabla A10. Resultados de evaluación ex - post de prohibición según tipo de episodio crítico del programa GEC sobre las concentraciones horarias de MP_{2.5}

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
<i>anuncio emergencia</i>	178.7	167.1 **	127.9 **	153.4 **	117.9 **	56.98 **
		[1.224]	[1.160]	[1.824]	[5.003]	[1.268]
<i>anuncio pre-emergencia</i>	120.8 **	108.9 **	72.90 **	61.76 **	20.17 *	13.05 **
	[1.90e-11]	[1.271]	[0.940]	[1.249]	[3.560]	[0.600]
<i>prohibición emergencia</i>	-55.07 **	-55.03 **	-31.14 *	-58.06 *	-48.48 **	-47.35 **
	[4.609]	[4.628]	[8.184]	[8.757]	[1.690]	[0.810]
<i>prohibición pre-emergencia</i>	-31.34 **	-31.24 **	-13.10 *	-3.427	27.32 *	-7.167 *
	[2.224]	[2.219]	[1.457]	[1.226]	[4.870]	[1.596]
<i>hora 01:00</i>		-12.53 **	-12.23 **	-12.77 **	-14.88 **	-4.795 *
		[0.776]	[0.647]	[0.601]	[0.973]	[0.656]
<i>hora 02:00</i>		-22.50 **	-21.17 **	-22.12 **	-26.29 **	-5.585 *
		[1.419]	[0.973]	[0.981]	[2.066]	[1.396]
<i>hora 03:00</i>		-31.14 **	-30.24 **	-31.91 **	-37.74 **	-7.234 **
		[1.2781]	[2.1761]	[1.6571]	[2.7011]	[0.6041]
<i>hora 04:00</i>		-37.39 **	-36.66 **	-38.71 **	-46.25 **	-6.855 *
		[1.807]	[2.639]	[2.512]	[4.010]	[0.917]
<i>hora 05:00</i>		-40.31 **	-39.95 **	-42.67 **	-51.52 **	-5.233 **
		[1.5681]	[3.2081]	[2.4421]	[4.2371]	[0.2011]
<i>hora 06:00</i>		-31.88 **	-32.77 *	-37.43 **	-47.85 *	-1.646 *
		[2.9431]	[4.8851]	[3.2591]	[5.3901]	[0.7301]
<i>hora 07:00</i>		-27.25 *	-26.79 *	-31.75 *	-40.29 *	3.563 *
		[4.0121]	[5.4961]	[3.4471]	[5.3991]	[1.0311]
<i>hora 08:00</i>		-22.55 *	-18.53 *	-23.55 *	-27.51 *	7.515 **
		[3.8511]	[5.3921]	[3.1831]	[5.3551]	[0.4991]
<i>hora 09:00</i>		-22.65 *	-14.31 *	-19.39 *	-16.98 *	5.929 **
		[3.6211]	[4.9821]	[2.8411]	[5.2581]	[0.3491]
<i>hora 10:00</i>		-24.99 *	-12.84 *	-17.45 *	-7.884 *	6.453 **
		[3.2821]	[3.9101]	[2.7361]	[5.0361]	[0.5611]
<i>hora 11:00</i>		-28.29 *	-13.43 *	-18.32 *	-1.679 *	6.274 *
		[3.4581]	[3.7431]	[2.6791]	[4.9621]	[0.9211]
<i>hora 12:00</i>		-31.61 **	-14.30 *	-19.25 *	3.090 *	7.535 **
		[3.1041]	[3.1781]	[2.5421]	[4.1721]	[0.3131]
<i>hora 13:00</i>		-33.91 **	-14.67 *	-19.70 *	7.100 *	9.546 **
		[3.2611]	[3.1921]	[2.5681]	[3.6901]	[0.4861]
<i>hora 14:00</i>		-35.22 **	-14.78 *	-20.16 *	9.340 *	10.69 **
		[3.3271]	[3.4551]	[2.5071]	[3.1541]	[0.04531]
<i>hora 15:00</i>		-35.07 **	-12.78 *	-18.34 *	11.46 *	12.81 **
		[3.3941]	[3.7311]	[2.4661]	[2.8441]	[0.1491]
<i>hora 16:00</i>		-32.35 *	-9.314 *	-15.20 *	12.07 *	14.96 **
		[3.9601]	[4.4361]	[1.9301]	[2.8101]	[0.2171]
<i>hora 17:00</i>		-24.67 *	-2.717 *	-9.704 *	12.90 *	19.83 **
		[5.0761]	[5.6701]	[2.0931]	[3.4071]	[0.7671]
<i>hora 18:00</i>		-13.72 *	4.259 *	-1.723 *	15.27 *	26.61 **
		[6.8691]	[7.1981]	[2.0511]	[2.6711]	[2.0261]
<i>hora 19:00</i>		3.154 *	16.10 *	11.39 *	22.44 *	26.98 **
		[8.3071]	[7.1851]	[3.3161]	[2.7831]	[1.4371]
<i>hora 20:00</i>		12.31 *	20.99 *	17.16 *	24.39 *	21.51 **
		[7.8181]	[6.4051]	[4.1031]	[3.7091]	[1.0151]
<i>hora 21:00</i>		16.52 *	22.69 *	18.47 *	23.02 *	16.95 **
		[6.9231]	[6.1561]	[3.1871]	[2.7871]	[0.1581]
<i>hora 22:00</i>		13.77 *	17.20 *	15.04 *	18.10 *	11.28 **
		[4.0981]	[3.6621]	[2.1711]	[1.9151]	[0.6851]
<i>hora 23:00</i>		9.337 *	10.87 *	10.15 **	11.86 **	7.328 *
		[1.8841]	[1.3011]	[0.5921]	[0.6621]	[0.8491]
<i>viento</i>		-17.58 **	-17.87 **	-17.87 **	-13.85 *	-5.119 *
			[0.8611]	[1.0471]	[1.9521]	[0.7821]
<i>precipitaciones</i>				0.752	-1.583	-0.161 *
				[0.6861]	[0.4201]	[0.02941]
<i>temperatura</i>					-6.024 *	-1.134 *
					[1.1651]	[0.1201]
<i>mp25 (t-1)</i>						0.812 **
						[0.006411]
<i>constante</i>	34.26 **	53.52 **	73.16 **	77.44 **	136.7 *	20.60 **
	[0.0805]	[3.009]	[4.520]	[0.304]	[14.20]	[0.125]
<i>Observaciones</i>	118843	118843	95884	80028	72924	72243
<i>R2</i>	0.104	0.165	0.224	0.211	0.311	0.782

Fuente: Elaboración propia. Nota: Errores estándar robustos en los paréntesis. (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Un resumen de los principales resultados obtenidos y cuadro comparativo con las estimaciones ex – ante utilizadas en el AGIES se presentan en la Tabla A11.

Tabla A11. Resumen de resultados de la evaluación ex - post del programa GEC

Tratamiento	Impacto estimado	Robustez de impacto	Valor de impacto recomendado	Intervalo de confianza al 95%	Supuesto ex - ante de AGIES
Prohibición durante episodio crítico	Reducción de 30,87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} y de 27,51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ en el modelo con más variables de control que no desagrega por episodio crítico.	Sí	47,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ para episodio de emergencia.	[45,73 ; 48,97] $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ para episodio de emergencia.	Reducción de aproximadamente 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por día de episodio crítico los primeros dos años de implementación del PDA de Temuco y Padre Las Casas. Sin embargo, esta reducción no se incorpora en la proyección del PDA porque se afirma que es impredecible el número de días con episodio crítico (Fuente: MMA, 2014)
	Reducción de 50,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} y de 47,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ en el modelo con más variables de control para un episodio de emergencia.		7,17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ para episodio de pre - emergencia.	[3,98 ; 10,34] $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ para episodio de pre - emergencia.	
	Reducción de 10,48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} y de 7,17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ en el modelo con más variables de control para un episodio de pre - emergencia.				

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Para determinar el impacto del programa de gestión de episodios críticos se utilizaron los niveles de concentraciones horarias de MP_{10} y $\text{MP}_{2,5}$ junto a variables meteorológicas dentro y fuera del polígono de prohibición de Temuco y Padre Las Casas. La metodología de diferencias en diferencias fue seleccionada para identificar el impacto de este programa, demostrando que el nivel de concentraciones con periodicidad horaria ha disminuido en el corto plazo debido a la aplicación de restricciones al uso de calefacción residencial en días de pre-emergencia y emergencia ambiental en las zonas sujetas a prohibición en Temuco y Padre Las Casas. Los resultados muestran que la prohibición durante un episodio crítico (independiente del tipo de episodio) genera una reducción entre 15 y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} y entre 10 y 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$. Al desagregar por tipo de episodio crítico se observa que la prohibición durante un episodio de emergencia permite reducir las concentraciones en una magnitud mayor que la prohibición durante un episodio de pre-emergencia.

Específicamente, entre 40 y 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} y entre 30 y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ durante una emergencia, y además, una reducción entre 10 y 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} y entre 7 y 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ durante una pre-emergencia. Los resultados anteriores muestran que la implementación de este programa de gestión de episodios críticos es bastante efectivo para reducir la contaminación en el corto plazo, lo cual refuerza la idea de ampliar esta medida del PDA de Temuco y Padre Las Casas en otras zonas del país con problemáticas similares, y también, ampliar la misma prohibición durante un día de pre - emergencia respecto a la implementada en un día de emergencia.

ANEXO A.III: EVALUACIÓN EX – POST DEL PROGRAMA DE RECAMBIO DE CALEFACTORES

INTRODUCCIÓN

El programa de recambio de calefactores busca reducir las emisiones generadas por la combustión residencial de leña en el centro - sur de Chile. Este programa del MMA abre postulaciones cada año para quienes requieran cambiar sus calefactores a leña antiguos por nuevos calefactores más eficientes y con bajas tasas de emisión de material particulado. En el contexto del PDA de Temuco y Padre Las Casas, la población objetivo de este programa corresponde a hogares que posean viviendas ubicadas en zonas urbanas y que tengan instalado un artefacto a leña que se encuentre en uso.

De acuerdo a los datos de la Seremi del MMA de la Región de La Araucanía, entre los años 2015 y 2016 postularon 11550 hogares al programa de recambio de calefactores, de los cuales un 23,5% fueron beneficiados (ver Tabla A12). Sin embargo, existen 3148 hogares que postularon a varios llamados realizados en ese periodo debido a que no fueron seleccionados previamente.

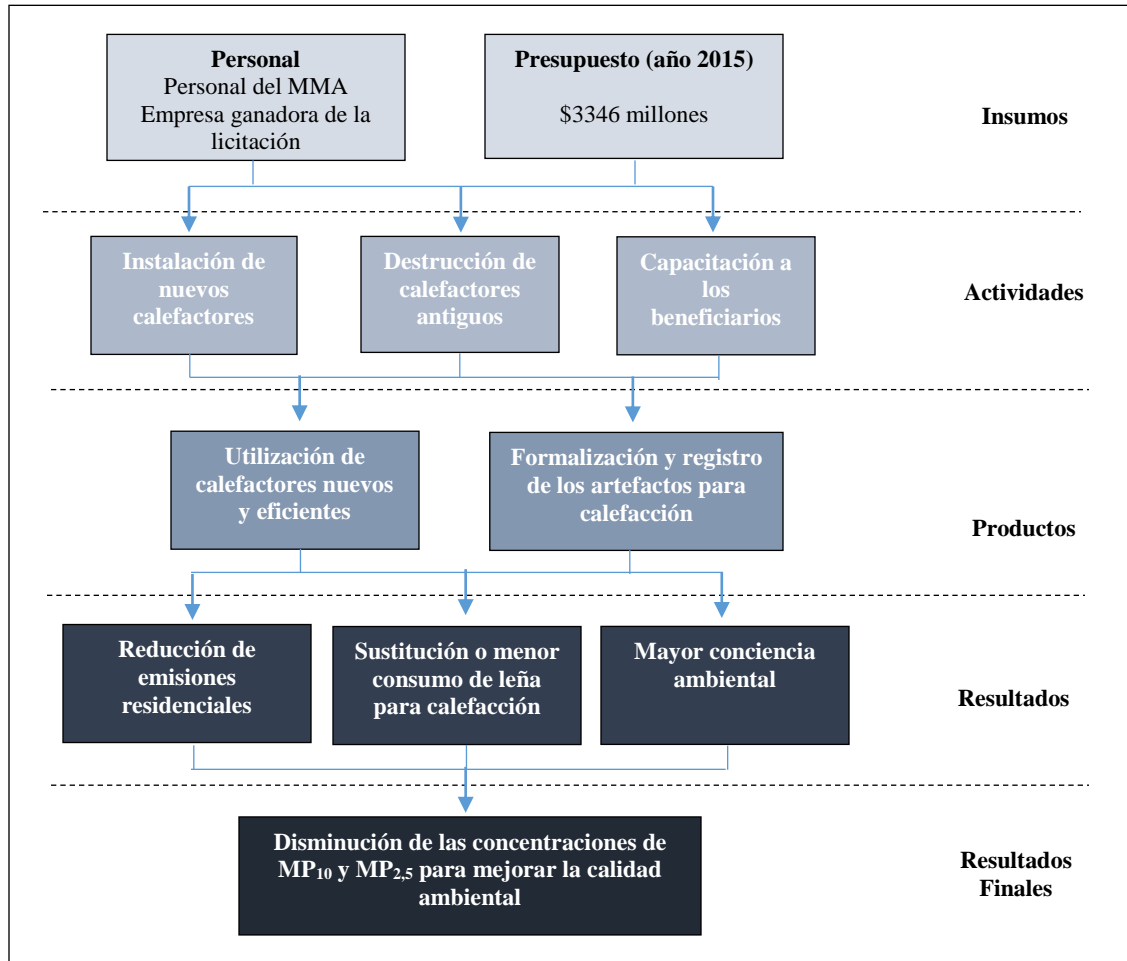
Tabla A12. Postulaciones al programa de recambio de calefactores

Comuna	N° de postulaciones	N° de calefactores a pellet	N° de calefactores a kerosene	N° de calefactores a gas	N° de calefactores a leña	% de beneficiarios
Padre Las Casas	2.207	294	78	0	159	24,1%
Temuco	9.343	1.208	459	0	514	23,3%
Total	11.550	1.502	537	0	673	23,5%

Fuente: SEREMI MMA Región de la Araucanía

La postulación a este programa se puede realizar vía Internet o de forma presencial. Los hogares beneficiados pueden reemplazar su actual artefacto de calefacción a leña por un sistema de calefacción más limpio y eficiente. Las alternativas disponibles para el recambio son calefactores a kerosene (parafina), pellet, gas licuado y calefactor a leña certificado. Sin embargo, en la práctica solo han sido escogidos artefactos a kerosene, pellet y leña en Temuco y Padre Las Casas. Los beneficiarios deben entregar su artefacto a leña antiguo para su destrucción, y además, cancelar una cuota de instalación a la empresa encargada de instalar el nuevo equipo, la cual puede ser pagada en efectivo, tarjeta de débito o crédito. La ilustración de la cadena de resultados de este programa se presenta en la Figura A14.

Figura A14. Representación gráfica de la teoría del cambio de programa de recambio de calefactores



Fuente: Elaboración propia

El objetivo de realizar una evaluación ex – post programa de recambio de calefactores es demostrar que el nivel de emisiones de MP_{2,5}, estimado a partir del consumo de leña anual y otros energéticos para calefacción, ha disminuido debido al programa implementado en Temuco y Padre Las Casas. El impacto del programa se estima a partir del cambio en el consumo actual y previo al recambio del calefactor en el caso de los hogares beneficiados con respecto al cambio en el consumo en los hogares que no participaron en el programa, condicionando por características de socioeconómicas de los hogares y las características de las viviendas. Para lo anterior, se implementa la técnica de diferencias en diferencias a través de una regresión con datos de panel con efecto fijo para determinar el impacto de realizar un recambio del calefactor en las viviendas beneficiadas, también se determina el efecto específico del tipo de calefactor escogido (pellet, leña certificado o kerosene). Cabe señalar, que esta estrategia de identificación se puede realizar porque se recolectó información de hogares no beneficiados con características similares a los hogares

beneficiados, tanto para el periodo actual y previo a la participación en el programa de recambio de calefactores. Adicionalmente, a partir de los mismos datos se utilizan técnicas de *matching* con diferencias en diferencias que comparan a un subconjunto de observaciones del grupo de tratamiento y control que son parecidas entre sí de acuerdo a sus características observables.

Dentro de las limitaciones de esta evaluación se puede mencionar que la información de línea base se levantó de forma retrospectiva. Además, por las características de la muestra no se puede extrapolar el resultado a hogares beneficiados en otras zonas del país.

DATOS

Como las unidades de análisis son los hogares beneficiados entre los años 2015 y 2016, pero de acuerdo a información proporcionada por la SEREMI del MMA de la Región de la Araucanía, la fecha efectiva del recambio ocurrió a fines del año 2015, se decidió definir el periodo de 2015 y 2017 como aquel que permite caracterizar de mejor forma la situación base y la situación posterior a la aplicación del tratamiento.

Para determinar el tamaño muestral necesario para evaluar este programa se propuso utilizar los mismos criterios que en un diseño experimental. Específicamente, se asumió un nivel de confianza del 95%, una potencia de 80% y un impacto estimado de 35% en la variable de resultado, por lo cual se requirió un tamaño muestral de 260 hogares para evaluar el programa, es decir, 130 hogares tratados y 130 que deberían actuar como control. No obstante, como el levantamiento de datos se realizó para evaluar el programa de recambio de calefactores y aislamiento térmico, algunos de los 130 hogares que se escogieron aleatoriamente para evaluar el programa de aislamiento térmico, también fueron beneficiados con el programa de recambio de calefactores. En consecuencia, se utiliza un total de 133 hogares que fueron beneficiados con el programa de recambio.

Para escoger a los hogares tratados que serían encuestados se les asignó un número aleatorio para ordenarlos de mayor a menor y se seleccionó a un subgrupo de hogares con el objetivo de encuestarlos para levantar la línea base año 2015 y ronda de seguimiento año 2017. El grupo de control está conformado por hogares que viven cerca de los hogares tratados encuestados (a una, tres, cinco, siete, etc. casas de distancia) con el objetivo que tuvieran características similares.

El levantamiento de datos se realizó entre los meses de mayo y julio de 2017, en el cual se recopiló información actual del año 2017 e información retrospectiva del año 2015, obteniéndose un seguimiento a través del tiempo de los hogares antes y después de haber obtenido algún beneficio en el marco de los programas del PDA de Temuco y Padre Las Casas para reducir la contaminación por $MP_{2.5}$. Cada hogar fue identificado por un único número de folio en ambos periodos, con lo cual se estructuró una base de datos de panel.

La variable de resultado se define como el nivel de emisiones de $MP_{2,5}$ generado por el consumo de leña y otros energéticos para calefacción en cada vivienda, ya que se espera que la participación en este programa disminuya la utilización de leña y en consecuencia contribuya al objetivo de reducir las emisiones. La variable de tratamiento se define como una variable dicotómica que adopta el valor uno si los hogares han sido beneficiados por este programa en Temuco y Padre Las Casas. Esta variable adopta el valor cero para hogares beneficiados en el periodo previo al recambio, y también, en los hogares que no fueron beneficiados en ambos periodos. Como existe un registro oficial de los hogares efectivamente beneficiados el cual puede diferir de lo declarado por los hogares por imprecisión o falta de conocimiento, se prioriza la información oficial cuando existe una diferencia entre ambas fuentes de información. Las variables de control incluyen características relacionadas con la probabilidad de participación en el programa y variables adicionales que permiten caracterizar a los hogares y las viviendas en la encuesta.

El resumen de las variables de resultado, tratamiento y control, así como sus características se presentan en la Tabla A13.

Tabla A13. Variables levantadas para la evaluación ex – post del programa de recambio de calefactores

Variable	Tipo de variable	Unidad	Periodicidad	Fuente
Consumo de leña y otros energéticos	Resultado	Kg/año	Anual	Encuesta IIT
Beneficiario de recambio de calefactores	Tratamiento	Dicotómica	Anual	SEREMI MMA
Tipo de calefactor escogido en el programa	Tratamiento	Categórica	Anual	SEREMI MMA
Tipo de calefactor antiguo	Control	Categórica	Anual	Encuesta IIT
Estado del calefactor antiguo	Control	Categórica	Anual	Encuesta IIT
Antigüedad del calefactor	Control	Número de años	Anual	Encuesta IIT
Tipo de vivienda	Control	Categórica	Anual	Encuesta IIT
Habitaciones de la vivienda	Control	Número	Anual	Encuesta IIT
Año de construcción de la vivienda	Control	Año	Anual	Encuesta IIT
Estándar de construcción SERVIU	Control	Dicotómica	Anual	Encuesta IIT
M ² construidos	Control	M ²	Anual	Encuesta IIT
Percepción de confort térmico	Control	Categórica	Anual	Encuesta IIT
Material de construcción del piso	Control	Categórica	Anual	Encuesta IIT
Precio pagado por el energético	Control	\$/unidad	Anual	Encuesta IIT
Conocimiento del PDA	Control	Dicotómica	Anual	Encuesta IIT
Efectos negativos percibidos en el aire	Control	Categórica	Anual	Encuesta IIT
Humedad de la leña utilizada	Control	Categórica	Anual	Encuesta IIT
Tiempo de secado de la leña	Control	Número de meses	Anual	Encuesta IIT
Tipo de comerciante que vende la leña	Control	Categórica	Anual	Encuesta IIT
Personas que integran el hogar	Control	Número de personas	Anual	Encuesta IIT
Personas mayores de 60 años	Control	Número de personas	Anual	Encuesta IIT
Personas menores de 15 años	Control	Número de personas	Anual	Encuesta IIT
Años de escolaridad del jefe de hogar	Control	Número de años	Anual	Encuesta IIT
Nivel de ingreso	Control	\$/mes	Anual	Encuesta IIT

Fuente: Elaboración propia

Luego de procesar todos los datos se calcularon los consumos energéticos de calefacción para cada tipo de combustible, transformando las diferentes unidades de compra a kilogramos (kg) en el caso de la leña, pellet y gas, a litros (lt) en el caso del kerosene y kilowatts (kw) en el caso de la electricidad. Además, se estimaron las emisiones de MP_{2,5} en kg utilizando para cada energético los factores de emisión reportados en GreenLabUC (2016). A continuación se presenta la estadística descriptiva de estas variables para el año 2015 y 2017.

Tabla A14. Descripción de variables de consumo energético y emisiones en el año 2015 y 2017 para grupo de tratamiento y control del programa de recambio de calefactores

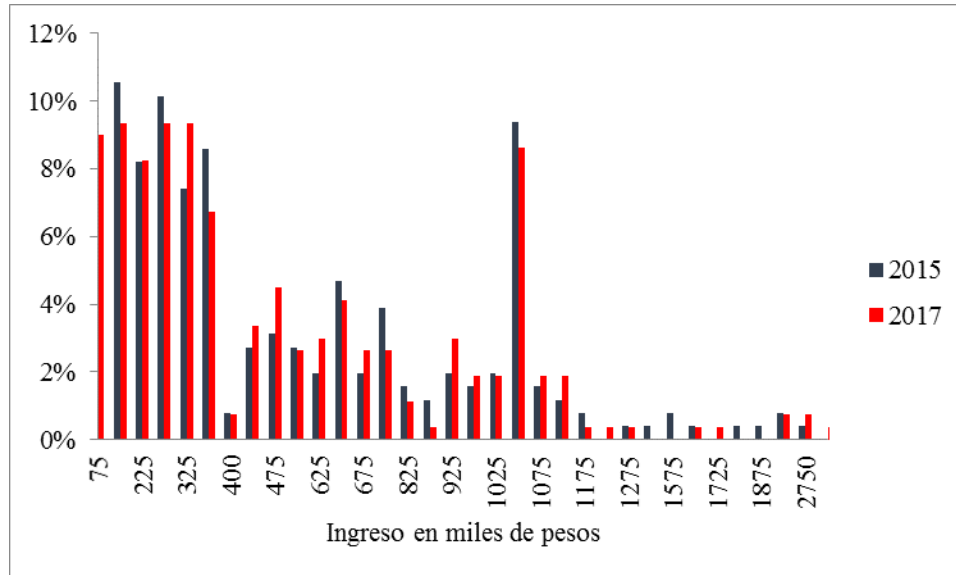
	Variable	Observaciones	Promedio	Desv. Estándar	Mínimo	Máximo
Año 2015	Consumo de leña (kg)	267	2843,1	1996,2	0,0	10860,0
	Consumo de pellet (kg)	267	2,5	31,3	0,0	480,0
	Consumo de gas (kg)	267	7,0	30,2	0,0	270,0
	Consumo de kerosene (lt)	267	7,5	44,2	0,0	420,0
	Consumo de electricidad (kw)	266	0,6	9,2	0,0	150,0
	Emisiones de MP _{2,5} (kg)	267	28,1	27,9	0,0	180,9
Año 2017	Consumo de leña (kg)	266	1509,7	1606,8	0,0	7240,0
	Consumo de pellet (kg)	267	438,9	897,6	0,0	6864,0
	Consumo de gas (kg)	266	6,8	30,0	0,0	270,0
	Consumo de kerosene (lt)	267	54,6	161,9	0,0	1038,0
	Consumo de electricidad (kw)	266	4,1	59,1	0,0	952,0
	Emisiones de MP _{2,5} (kg)	265	12,4	15,7	0,0	103,9

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la Tabla A14 entre ambos periodos se observa que el consumo promedio anual de leña cae desde 2843 kg hasta 1509,7 kg (estos valores incluyen a todos los hogares del grupo de tratamiento y control, independientemente si consumen o no consumen leña, mientras que el valor promedio de consumo de leña en 2015 solo para hogares que sí consumen leña fue 3230,3 kg). Además, el consumo promedio de pellet se incrementa desde 2,5 kg hasta 438,9 kg, el consumo promedio de gas se reduce desde 7,0 kg hasta 6,8 kg, el consumo promedio de kerosene se incrementa desde 7,5 lt hasta 54,6 lt, el consumo promedio de electricidad se incrementa desde 0,6 kw hasta 4,1 kw, y además, las emisiones de MP_{2,5} promedio anuales se reducen desde 28,1 kg hasta 12,4 kg.

En la Figura A15 se aprecia que la distribución de ingresos mensuales es bastante similar entre los años 2015 y 2017. El ingreso líquido promedio en el año 2015 fue \$ 542.969 y en el año 2017 es \$545.599.

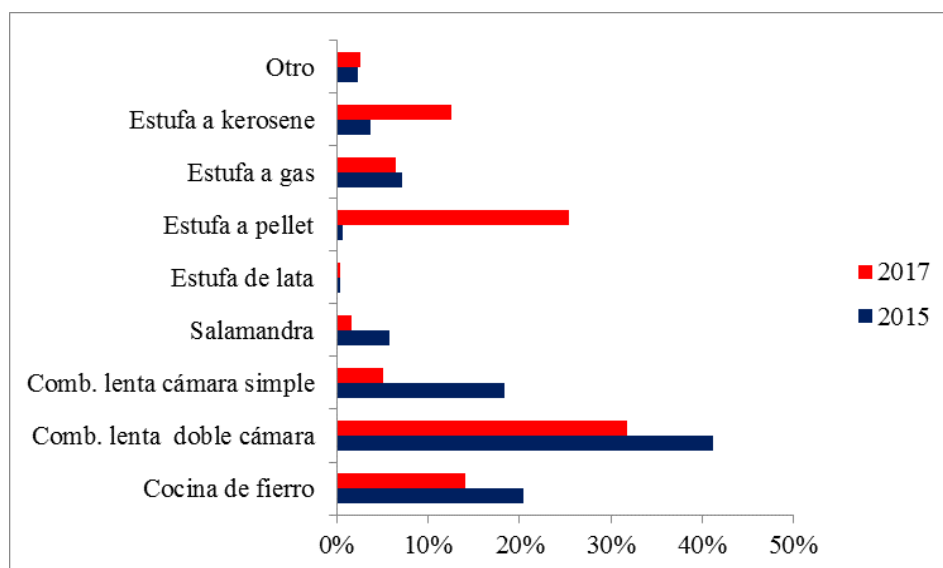
Figura A15. Distribución de ingresos mensuales



Fuente: Elaboración propia

En la Figura A16 se observa que la composición del parque de calefactores se renovó bastante entre los años 2015 y 2017, lo cual se explica principalmente por el programa público de recambio de calefactores, y también, por el recambio natural.

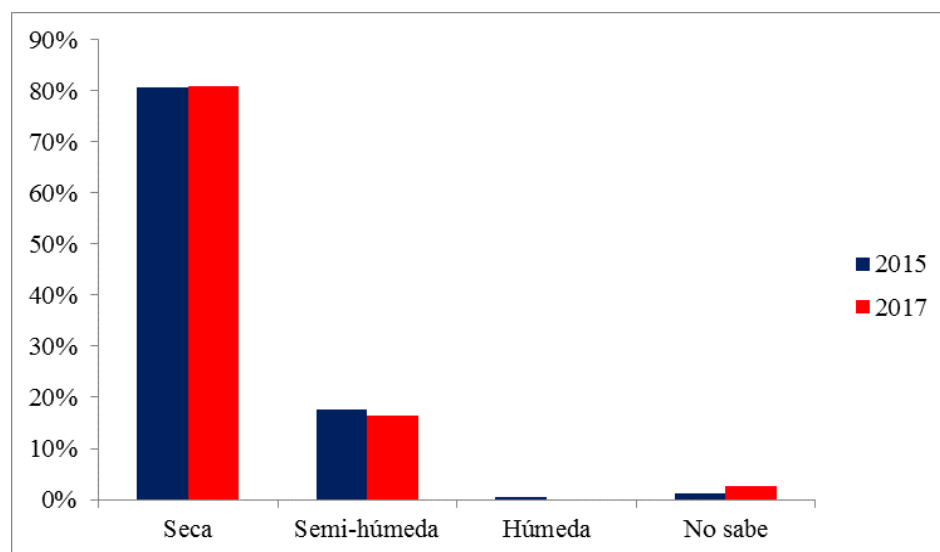
Figura A16. Distribución de equipos de calefacción



Fuente: Elaboración propia

La humedad de la leña es una variable que incide directamente en las emisiones de los equipos utilizados. Una disminución en la humedad de la leña en los últimos años podría haber reducido las emisiones de MP_{2,5}, pero se observa en la Figura A17 que el nivel de humedad prácticamente no se ha alterado durante el periodo de análisis. Considerando ambos periodos los hogares encuestados afirman que un 80,8% de la leña está seca, 17,2% semi – húmeda, 0,2% húmeda y 1,7% no sabe.

Figura A17. Distribución de humedad de la leña



Fuente: Elaboración propia

METODOLOGIA

Método de diferencias en diferencias

El método diferencias en diferencias (DID) compara la diferencia en el efecto promedio para el grupo que es beneficiado por el programa de recambio de calefactores antes y después del tratamiento (grupo de tratamiento), con respecto a la diferencia en el efecto promedio para el grupo que no fue beneficiario de este programa antes y después del tratamiento (grupo de control). La diferencia de los resultados antes y después del grupo de tratamiento o control (primera diferencia) es capaz de eliminar factores no observables que permanecen constantes en el tiempo para dicho grupo, ya que se compara al grupo con sí mismo. La segunda diferencia, al sustraer los resultados antes y después para el grupo de tratamiento con respecto a los resultados antes y después para el grupo de control, permite condicionar por factores no observables individuales y efectos temporales comunes a ambos grupos. Esto permite lograr una mejor estimación del impacto del tratamiento.

Para estimar el impacto del programa sobre las emisiones de MP_{2,5} se genera la siguiente regresión:

$$E_{it} = \alpha + \beta \cdot X_{it} + \tau^{RC}_{DID} \cdot T^{RC}_{it} + u_{it} \quad (A3)$$

Donde E_{it} corresponde a las emisiones de MP_{2,5} del hogar i en el periodo t , T^{RC}_{it} es una variable *dummy* igual a 1 si el hogar i es beneficiario del programa de recambio de calefactores en el año t , X_{it} son las variables explicativas o variables de control del hogar i en el periodo t y u_{it} es el término de error de la ecuación. El parámetro que determina el impacto del programa es τ^{RC}_{DID} el cual puede ser calculado como la diferencia del cambio observado antes y después en el grupo de tratamiento y el grupo de control.

En relación a las variables explicativas utilizadas, se incluyeron aquellas variables disponibles cuyo número de observaciones con datos válidos fuera el mayor posible (pocos valores *missing*). Por ejemplo, no se incluyó la humedad de la leña, el precio de los combustibles (que se podía calcular implícitamente al dividir el gasto monetario por el consumo energético), entre otras. Lo anterior, para evitar que el número de observaciones en los modelos estadísticos se redujera demasiado. Tampoco se incluyen variables cuyos valores no se modifiquen a través del tiempo (por ejemplo, tipo de vivienda).

Para evaluar la robustez los resultados se estimaron seis diferentes especificaciones. El primero modelo solo incluye la variable de tratamiento asociada a la participación en el programa de recambio de calefactores, el segundo modelo además incluye como variables de control las características de los equipos como antigüedad y estado del calefactor, en el tercer modelo también se agregan variables que caracterizan al hogar y la vivienda. El cuarto, quinto y sexto modelo son igual que los anteriores pero se desagrega por tipo de calefactor escogido (pellet y kerosene, utilizando como base los calefactores a leña certificados).

Método de *matching* con diferencias en diferencias

En la presente evaluación ex – post se dispone de datos de panel por lo cual es posible utilizar el estimador de *matching* con diferencias en diferencias (DIDM). El método DIDM utiliza en conjunto DID y *matching*, este último permite seleccionar de la muestra elegible un grupo de control que es similar en características observables al grupo de tratamiento, mientras que el método DID compara al grupo de tratamiento y de control (primera diferencia), antes y después del programa (segunda diferencia), lo que permite controlar por características no observables que pueden afectar a ambos grupos de diferentes maneras. Este estimador fue propuesto por Heckman et al. (1997) el cual usa ponderadores para el *matching* basado en *kernel* que pondera las observaciones de forma diferente de acuerdo al tipo de *kernel* seleccionado. La mayor ventaja de usar este estimador es que permite controlar por diferencias no observables invariables en el tiempo entre las unidades del grupo de tratamiento y control.

RESULTADOS

La Tabla A15 muestra el impacto del programa de recambio de calefactores sobre el consumo de leña. En el primer modelo se estima una reducción estadísticamente significativa de 2637 kg, el modelo 2 y modelo 3 estima respectivamente una reducción estadísticamente significativa de 2262 kg y de 2353 kg, y además, se determina que la antigüedad del equipo y el estado del calefactor afectan significativamente el consumo de leña (aunque estos últimos signos son contrarios a los esperados). En los modelos 4, 5 y 6 que desagregan por el tipo de equipo escogido, se observa que el efecto estadísticamente significativo de la antigüedad del equipo se mantiene, pero lo más importante es que el recambio por un nuevo calefactor a leña certificado (caso base) no muestra un efecto negativo y estadísticamente significativo sobre el consumo de leña. El consumo de leña se reduce significativamente solo en el caso que el nuevo equipo sea a kerosene (por ejemplo 3205 kg en el modelo con más variables de control) o pellet (por ejemplo 2071 kg en el modelo con más variables de control). A partir de estos resultados se pueden generar importantes implicancias de política. Primero, el programa de recambio de calefactores es efectivo para reducir de forma importante el consumo de leña, pero se deberían focalizar los recursos solo en los equipos a kerosene o pellet, ya que el recambio a un nuevo calefactor a leña certificado no reduce el consumo de este energético.

La Tabla A16 muestra el impacto del programa de recambio de calefactores sobre las emisiones de $MP_{2,5}$. En este caso se observa un efecto significativo y negativo del programa en todas las especificaciones, por lo cual se concluye que el efecto negativo también es robusto. La única variable de control que es positiva y estadísticamente significativa es la antigüedad del equipo. Sin embargo, resulta extraño que la tipología de equipo escogido para el recambio no tenga un impacto diferenciado y estadísticamente significativo sobre las emisiones de $MP_{2,5}$. Esto se explica porque el factor de emisión y eficiencia utilizados para los nuevos calefactores certificados son menores a los utilizados para los calefactores antiguos, por lo cual bajo este supuesto a los hogares que escogieron este tipo de calefactor se les calcula una emisión menor. Sin embargo, el resultado obtenido en esta evaluación ex – post invita a cuestionarse si la eficiencia de los equipos y/o el factor de emisión que se utiliza oficialmente en el MMA reportado en GreenLabUC (2016) reflejan efectivamente la emisión generada por los nuevos calefactores certificados, ya que la Tabla A15 muestra que no reducen el consumo de leña, y por lo tanto, aunque pueden existir mejoras en la eficiencia parecieran no ser menos contaminantes. Así, aunque la evaluación ex – post nos dice exactamente qué parte se puede atribuir a eficiencia y que parte a factor de emisión, lo claro es que el recambio a una estufa a leña certificada no reduce el consumo de leña desde un punto de vista estadístico al 95% de confianza.

Tabla A15. Regresiones asociadas al impacto del programa de recambio de calefactores sobre el consumo de leña (kg/año)

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
<i>Programa recambio</i>	-2637.2 [207.7]	** -2262.8 [265.5]	** -2352.8 [304.0]	** -527.1 [341.1]	-297.6 [331.4]	-466.0 [374.8]
<i>Antigüedad equipo</i>		74.14 [28.52]	** 67.82 [29.82]	*	72.03 [28.14]	* 72.24 [30.50]
<i>Calefactor regular</i>		-1369.6 [485.4]	** -1382.6 [527.4]	**	-1028.4 [485.1]	* -1055.4 [542.7]
<i>Calefactor malo</i>		-1259.8 [431.4]	** -1048.2 [460.1]	*	-684.1 [455.8]	-704.5 [488.7]
<i>Nº personas</i>			166.5 [145.6]			64.78 [155.6]
<i>Nº personas > 65</i>			67.17 [296.9]			166.2 [262.9]
<i>Nº personas < 15</i>			162.9 [259.1]			189.2 [245.2]
<i>M2 vivienda</i>			-37.14 [37.96]			-11.02 [26.81]
<i>Confort térmico</i>			257.3 [265.8]			221.8 [216.8]
<i>Conoce PDA</i>			394.0 [269.4]			386.0 [238.3]
<i>Escolaridad</i>			662.5 [280.1]	*		439.4 [289.1]
<i>Ingreso</i>			-0.000294 [0.000825]			-0.000323 [0.000769]
<i>Elije equipo a kerosene</i>				-3487.9 [564.3]	** -3339.7 [555.0]	** -3205.3 [605.2]
<i>Elije equipo a pellet</i>				-2453.6 [414.1]	** -2191.9 [409.2]	** -2070.7 [441.1]
<i>Constante</i>	2835.7 [51.83]	** 2557.2 [211.2]	** -8299.3 [4435.3]		2835.7 [44.81]	*** 2479.3 [201.7]
<i>Observaciones</i>	533	522	489	533	522	489
<i>R2</i>	0.476	0.527	0.538	0.575	0.608	0.612

Fuente: Elaboración propia. Nota: Errores estándar en los paréntesis. (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Tabla A16. Regresiones asociadas al impacto del programa de recambio de calefactores sobre las emisiones de MP_{2,5} (kg/año)

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
<i>Programa recambio</i>	-30.14 [2.818]	** -22.42 [3.568]	** -22.93 [3.955]	** -24.44 [5.081]	** -17.56 [4.631]	** -19.93 [5.248]
<i>Antigüedad equipo</i>		1.132 [0.384]	** 0.978 [0.397]	* -5.913 [4.051]	1.107 [0.366]	** 1.012 [0.395]
<i>Calefactor regular</i>		-5.913 [4.051]	-5.069 [4.305]		-5.931 [4.382]	-5.591 [4.706]
<i>Calefactor malo</i>		-6.659 [5.992]	-4.719 [6.346]		-6.202 [6.031]	-5.752 [6.444]
<i>Nº personas</i>			-0.961 [1.559]			-1.427 [1.750]
<i>Nº personas > 65</i>			0.0385 [4.884]			1.213 [4.504]
<i>Nº personas < 15</i>			4.559 [3.335]			4.709 [3.514]
<i>M² vivienda</i>			-0.367 [0.466]			-0.191 [0.351]
<i>Confort térmico</i>			5.790 [4.087]			5.241 [3.742]
<i>Conoce PDA</i>			3.985 [2.994]			2.472 [2.995]
<i>Escolaridad</i>			1.149 [2.249]			1.324 [2.240]
<i>Ingreso</i>			0.00000486 [0.0000109]			0.00000169 [0.0000106]
<i>Elije equipo a kerosene</i>				-19.81 [10.06]	-20.02 [9.601]	* -17.07 [10.31]
<i>Elije equipo a pellet</i>				-2.941 [5.956]	-1.944 [5.608]	1.047 [5.841]
<i>Constante</i>	27.82 [0.704]	** 19.86 [3.089]	** -20.98 [44.91]	27.82 [0.688]	** 20.07 [2.934]	** -30.37 [42.30]
<i>Observaciones</i>	532	521	488	532	521	488
<i>R²</i>	0.433	0.481	0.484	0.458	0.507	0.506

Fuente: Elaboración propia. Nota: Errores estándar en los paréntesis. (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Los resultados de los estimadores de *matching* con diferencias en diferencias para evaluar el impacto del programa de recambio de calefactores sobre el consumo de leña son presentados en la Tabla A17. Se reportan cinco tipos de *kernel* para hacer el emparejamiento entre las unidades del grupo de tratamiento y control, y además, con errores estándares normales y errores estándares robustos. A partir de las estimaciones realizadas se puede concluir que el tipo de calefactor escogido es muy importante para la efectividad del programa, ya que si el hogar escoge un equipo a pellet se puede afirmar con un 99% de confianza que la reducción en el consumo de leña varía entre 2900 kg y 3000 kg (el consumo original de los hogares tratados era 3257 kg), si el hogar escoge un equipo a kerosene se puede afirmar con un 99% de confianza que la reducción en el consumo de leña varía entre 3900 kg y 4000 kg (el consumo original de los hogares tratados era 4029 kg), pero si el hogar escoge un nuevo equipo a leña certificado no se observa una reducción estadísticamente significativa entre ambos grupos (el consumo original de los hogares tratados era 2301 kg). Estos resultados son similares a los obtenidos con el método de diferencias en diferencias que fueron presentados previamente.

Los resultados de los estimadores de *matching* con diferencias en diferencias para evaluar el impacto del programa de recambio de calefactores sobre las emisiones de MP_{2,5} son presentados en la Tabla A18. A partir de las diferentes estimaciones se concluye que el programa reduce significativamente las emisiones anuales de este contaminante, la reducción varía entre 28,1 kg y 28,7 kg por hogar. Sin embargo, a partir de los resultados de la Tabla A17 es posible inferir que esta reducción podría ser mayor si es que se focalizan los recursos para el recambio de calefactores a pellet y kerosene que sí reflejan una reducción significativa e importante en el consumo de leña, ya que los factores de emisión de los calefactores a leña certificados se obtienen bajo condiciones de operación en los laboratorios que puede diferir de las condiciones de operación real, para ejemplificar la variabilidad en los factores de emisión de los calefactores a leña certificados se puede mencionar que existe una desviación estándar de un 30% sobre el valor promedio de las emisiones obtenidas por los 21 equipos a leña con certificación vigente en el SEC. Sin embargo, como en la evaluación ex – post no se midieron las emisiones reales de los nuevos calefactores a leña certificados, y solo se está asumiendo un factor de emisión, no se puede asegurar desde el punto de vista de la evaluación ex – post que la reducción en las emisiones para este tipo de calefactores sea solo atribuible a un supuesto demasiado optimista sobre las emisiones de los nuevos calefactores a leña certificados.

Tabla A17. Estimadores de *matching* con diferencias en diferencias para determinar el impacto del programa de recambio de calefactores sobre el consumo de leña (kg/año)

Tipo de kernel	Equipo	Diff-in-Diff	Desv. estándar	t estadístico	valor-p
kernel epanechnikov	pellet	-3,00E+03	356,425	-8,28	0,000**
kernel epanechnikov (robusto)	pellet	-3,00E+03	429,173	-6,87	0,000**
kernel gaussiano	pellet	-2,90E+03	354,111	-8,21	0,000**
kernel gaussiano (robusto)	pellet	-2,90E+03	434,54	-6,69	0,000**
kernel biweight	pellet	-3,00E+03	354,664	-8,37	0,000**
kernel biweight (robusto)	pellet	-3,00E+03	433,369	-6,85	0,000**
kernel uniforme	pellet	-2,90E+03	358,296	-8,18	0,000**
kernel uniforme (robusto)	pellet	-2,90E+03	427,594	-6,86	0,000**
kernel tricube	pellet	-2,90E+03	358,107	-8,2	0,000**
kernel tricube (robusto)	pellet	-2,90E+03	428,066	-6,86	0,000**
kernel epanechnikov	kerosene	-3,90E+03	409,015	-9,62	0,000**
kernel epanechnikov (robusto)	kerosene	-3,90E+03	588,583	-6,68	0,000**
kernel gaussiano	kerosene	-3,90E+03	403,66	-9,76	0,000**
kernel gaussiano (robusto)	kerosene	-3,90E+03	576,665	-6,83	0,000**
kernel biweight	kerosene	-3,90E+03	410,7	-9,56	0,000**
kernel biweight (robusto)	kerosene	-3,90E+03	597,967	-6,57	0,000**
kernel uniforme	kerosene	-4,00E+03	406,328	-9,73	0,000**
kernel uniforme (robusto)	kerosene	-4,00E+03	573,308	-6,9	0,000**
kernel tricube	kerosene	-3,90E+03	406,931	-9,69	0,000**
kernel tricube (robusto)	kerosene	-3,90E+03	577,238	-6,83	0,000**
kernel epanechnikov	leña	143,006	351,953	0,41	0,685
kernel epanechnikov (robusto)	leña	143,006	501,702	0,29	0,776
kernel gaussiano	leña	52,451	342,344	0,15	0,878
kernel gaussiano (robusto)	leña	52,451	450,674	0,12	0,907
kernel biweight	leña	179,401	353,234	0,51	0,612
kernel biweight (robusto)	leña	179,401	512,276	0,35	0,726
kernel uniforme	leña	92,317	348,998	0,26	0,792
kernel uniforme (robusto)	leña	92,317	481,942	0,19	0,848
kernel tricube	leña	112,306	350,22	0,32	0,749
kernel tricube (robusto)	leña	112,306	490,304	0,23	0,819

Fuente: Elaboración propia. Nota: (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Tabla A18. Estimadores de *matching* con diferencias en diferencias para determinar el impacto del programa de recambio de calefactores sobre las emisiones de MP_{2,5} (kg/año)

Tipo de kernel	Diff-in-Diff	Desv. Estándar	t estadístico	valor-p
kernel epanechnikov	-28,552	4,172	-6,84	0,000**
kernel epanechnikov (robusto)	-28,552	4,874	-5,86	0,000**
kernel gaussiano	-28,347	4,073	-6,96	0,000**
kernel gaussiano (robusto)	-28,347	4,663	-6,08	0,000**
kernel biweight	-28,692	4,177	-6,87	0,000**
kernel biweight (robusto)	-28,692	4,914	-5,84	0,000**
kernel uniforme	-28,138	4,155	-6,77	0,000**
kernel uniforme (robusto)	-28,138	4,772	-5,90	0,000**
kernel tricube	-28,300	4,159	-6,80	0,000**
kernel tricube (robusto)	-28,300	4,801	-5,89	0,000**

Fuente: Elaboración propia. Nota: (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Un resumen de los principales resultados obtenidos y cuadro comparativo con las estimaciones ex – ante utilizadas en el AGIES se presentan en la Tabla A19.

Tabla A19. Resumen de resultados de la evaluación ex - post del programa de recambio de calefactores

Tratamiento	Impacto estimado	Robustez de impacto	Valor de impacto recomendado	Intervalo de confianza al 95%	Supuesto ex - ante de AGIES
Recambio de calefactores	Con el método de <i>matching</i> con diferencias en diferencias el consumo de leña se reduce solo para el recambio a equipos a pellet (entre 2900 y 3000 kg/año) y kerosene (entre 3900 y 4000 kg/año) pero no para los calefactores a leña certificados (0 kg/año), Se estima una reducción entre 28,1 y 28,7 kg/año de MP _{2,5} indiferenciado por tipo de equipo ³⁷ .	Sí	Entre 28,1 y 28,7 kg/año de MP _{2,5} por recambio de equipo.	[18,5 ; 38,5] kg/año de MP _{2,5} por recambio de equipo.	Reducción de 153 kg/año de MP _{2,5} para estufa a leña certificada, 166 kg/año de MP _{2,5} para estufa a pellet y 169 kg/año de MP _{2,5} para estufa a kerosene (Fuente: GreenLabUC, 2013)

Fuente: Elaboración propia

³⁷ Esta aparente contradicción entre impacto de emisiones y consumo de leña, se explica por los supuestos de eficiencia y/o factor de emisión para los nuevos calefactores certificados que son utilizados por el MMA.

CONCLUSIONES

Para estimar el impacto del programa de recambio de calefactores se utilizó una base de datos construida a partir de un levantamiento de encuestas en terreno que incluyó información sobre los niveles de consumo de leña y otras características de los hogares beneficiados y no beneficiados por este programa. La metodología de diferencias en diferencias fue seleccionada para identificar el impacto de este programa, pero además por la naturaleza de los datos a nivel de hogares también se utilizó el método de *matching* con diferencias en diferencias.

A partir de los resultados con el método de diferencias en diferencias se determinó que si un hogar escoge un nuevo calefactor a leña certificado no se observa un efecto negativo y estadísticamente significativo sobre el consumo de leña, pero el consumo de leña sí se reduce con significancia estadística en el caso que el nuevo equipo sea a kerosene o pellet. Cabe señalar que la reducción del consumo de leña en estos últimos tipo de equipos no necesariamente es completa porque hay algunas viviendas que tenían instalado más de un calefactor a leña previo al programa de recambio. Los resultados de los estimadores de *matching* con diferencias en diferencias muestran que si el hogar escoge un equipo a pellet se puede afirmar con un 99% de confianza que la reducción en el consumo de leña varía entre 2900 kg y 3000 kg (el consumo promedio original en los hogares tratados era 3257 kg), si el hogar escoge un equipo a kerosene se puede afirmar con un 99% de confianza que la reducción en el consumo de leña varía entre 3900 kg y 4000 kg (el consumo promedio original en los hogares tratados era 4029 kg), pero si el hogar escoge un nuevo equipo a leña certificado no se observa una reducción estadísticamente significativa entre ambos grupos. Así, independientemente del método utilizado se concluye que el programa de recambio de calefactores debería focalizar sus recursos solo en los equipos a kerosene o pellet. También, se estima un efecto significativo y negativo sobre las emisiones de MP_{2,5}. En el caso de los estimadores de *matching* con diferencias en diferencias se calcula una reducción que varía entre 28,1 kg y 28,7 kg de MP_{2,5} por hogar. Así, la reducción de las emisiones independientemente del tipo de calefactor solo se explica porque se asume un factor de emisión bajo para los calefactores de leña certificados que no se valida empíricamente en este estudio (basado en encuestas sobre consumo de leña y no en mediciones de emisiones en cada hogar) y no por una reducción significativa en el consumo de leña. Lo anterior, bajo un criterio conservador lleva a sugerir que se prioricen los calefactores a pellet y kerosene que sí reflejan una reducción significativa e importante en el consumo de leña, ya que los factores de emisión de los calefactores a leña certificados se obtienen bajo condiciones de operación en los laboratorios que puede diferir de las condiciones de operación real, para ejemplificar la variabilidad en los factores de emisión de los calefactores a leña certificados se puede mencionar que existe una desviación estándar de un 30% sobre el valor promedio de las emisiones obtenidas por los 21 equipos a leña con certificación vigente en el SEC. Sin embargo, como en la evaluación ex – post no se midieron las emisiones reales de los nuevos calefactores a leña certificados, y solo se está asumiendo un factor de emisión no se puede asegurar desde el punto de vista de la evaluación ex – post que la reducción en las emisiones para este tipo de calefactores sea

solo atribuible a un supuesto demasiado optimista sobre las emisiones de los nuevos calefactores a leña certificados.

ANEXO A.IV: EVALUACIÓN EX – POST DEL PROGRAMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO

INTRODUCCIÓN

El programa de aislamiento térmico es un subsidio que tiene por objetivo realizar una remodelación de la vivienda para acondicionarla térmicamente. Actualmente, este programa de subsidio está destinado en primera instancia a las personas y hogares de menores ingresos, pero no excluye a hogares sin ficha de protección social o cuya vivienda supere las 650 UF. El subsidio base para aislación térmica es de 120 UF para cada vivienda, pero puede ampliarse en caso de que la vivienda cuente con una ampliación regularizada de hasta 90 m². Si el monto del subsidio no permite aislar el 100% de la vivienda, el beneficiario debe cancelar un copago pero los beneficiarios que pertenecen al 1°, 2° y 3° quintil de ingreso quedan exentos de este copago, el cual es aportado por el Estado. Además, el subsidio considera una regularización para aquellas viviendas que no se encuentran en dicha condición. Específicamente, el programa de aislamiento térmico consiste en la remodelación de techumbre, paredes, ventanas, entre otros, lo cual ayuda a reducir la pérdida de calor, permitiendo una reducción en el consumo de leña necesario para mantener una temperatura de confort dentro de la vivienda. Para adjudicar los subsidios de este programa se realizan llamados especiales de postulación en las comunas de Temuco y Padre Las Casas. La postulación al programa se debe realizar a través de una entidad patrocinante que realiza el trámite directo en SERVIU. En consecuencia, la cadena de resultados de este programa se puede definir por la secuencia lógica presentada en la Figura A18.

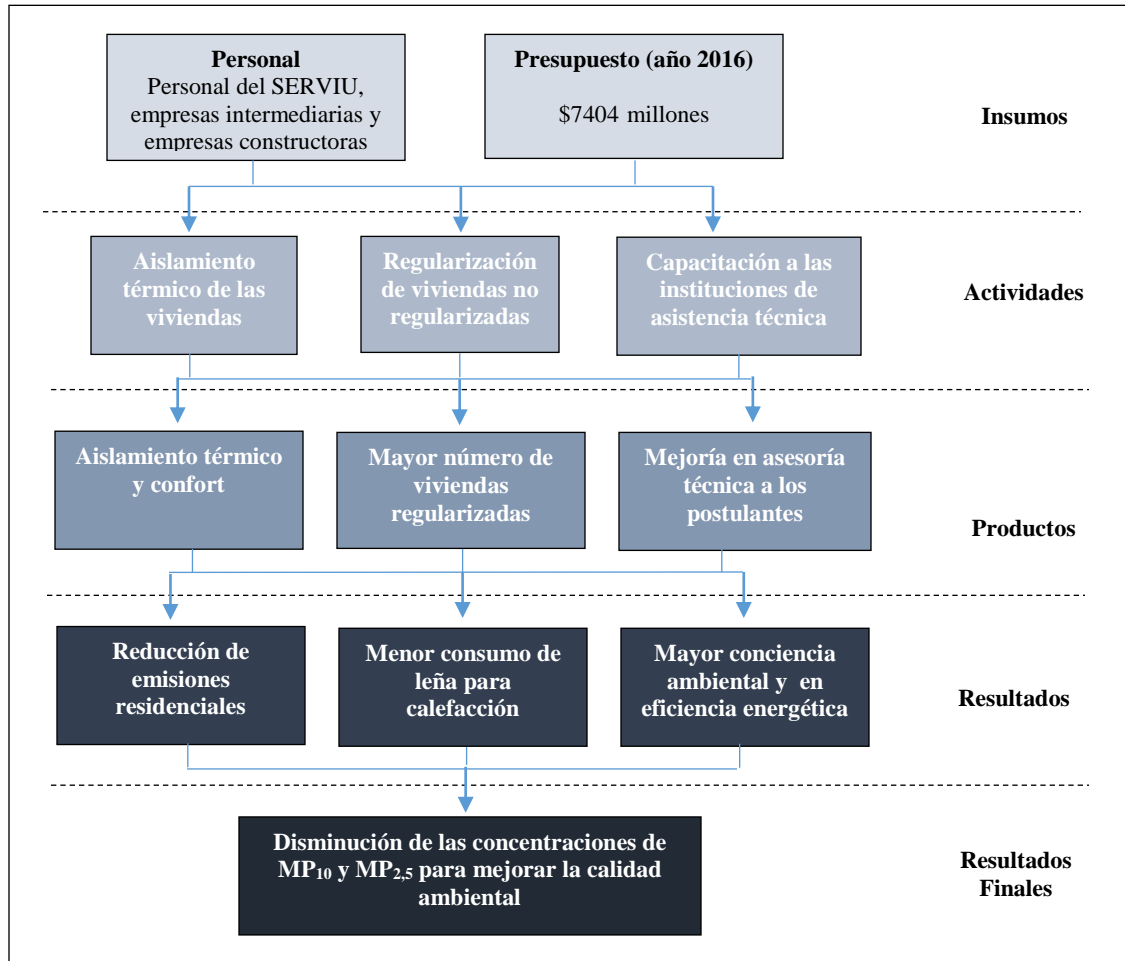
De acuerdo a los datos del MINVU existieron 3886 postulantes en las comunas de Temuco y Padre Las Casas durante el periodo 2015 a 2016 (ver Tabla A20). El 91,2% de los postulantes obtuvo el beneficio y el monto del subsidio obtenido se encuentra mayoritariamente entre 120 UF y 240 UF.

Tabla A20. Postulaciones al programa de aislamiento térmico

Comuna	N° de postulaciones	% de beneficiarios
Padre Las Casas	978	97,2%
Temuco	2888	89,1%
Total	3866	91,2%

Fuente: MINVU

Figura A18. Representación gráfica de la teoría del cambio de programa de aislamiento térmico



Fuente: Elaboración propia

El objetivo de la evaluación ex - post del programa de aislamiento térmico de viviendas es demostrar que el nivel de emisiones de MP_{2,5}, estimado a partir del consumo de leña anual y otros energéticos para calefacción, ha disminuido debido al programa implementado en Temuco y Padre Las Casas. El impacto del programa se estima a partir del cambio en las emisiones en el periodo actual y previo al mejoramiento térmico en las viviendas beneficiadas respecto al cambio en ambos periodos para las viviendas que no participaron en el programa, condicionando por características socioeconómicas de los hogares y las características de las viviendas. Para lo anterior, se implementa la técnica de diferencias en diferencias a través de una regresión con datos de panel con efecto fijo para determinar el impacto del aislamiento térmico en las viviendas beneficiadas. Cabe señalar, que esta estrategia de identificación se puede realizar porque se recolectó información de hogares no beneficiados con características similares a los hogares beneficiados, tanto para el periodo actual como previo a la participación en el programa de aislamiento térmico.

Adicionalmente, a partir de los mismos datos se utilizan técnicas de *matching* con diferencias en diferencias que escogen un subconjunto de observaciones del grupo de tratamiento y control que son parecidas de acuerdo a sus características observables.

Dentro de las limitaciones de esta evaluación se puede mencionar que la información de línea base se levantó de forma retrospectiva. Además, por las características de la muestra no se puede extrapolar el resultado a hogares beneficiados en otras zonas del país.

DATOS

La población objetivo del programa de aislamiento térmico corresponde a todos los postulantes a este programa en las comunas de Temuco y Padre Las Casas entre los años 2015 y 2016 que de acuerdo a los registros oficiales son 3.886 hogares.

Para calcular el tamaño muestral que permitiera evaluar este programa se asume un nivel de confianza del 95%, una potencia de 80% y un impacto estimado de 35% en la variable de resultado. Bajo estos valores se requiere un tamaño muestral de 260 hogares, es decir, 130 hogares tratados y 130 que deberían actuar como control.

A todos los postulantes de los registros oficiales se les asignó un número aleatorio para ordenarlos de mayor a menor, luego se seleccionó a un subgrupo de hogares tratados con el programa de aislamiento térmico con el objetivo de encuestarlos para levantar la línea base año 2015 y ronda de seguimiento año 2017. El grupo de control está conformado por hogares que viven cerca de los hogares tratados que fueron encuestados (a una, tres, cinco, siete, etc. casas de distancia) con el objetivo que tengan características similares.

Como el levantamiento de datos se realizó para evaluar el programa de aislamiento térmico y el programa de recambio de calefactores, algunos de los 130 hogares que se escogieron aleatoriamente para evaluar el programa de recambio de calefactores, también fueron beneficiados con el programa de aislamiento térmico. En consecuencia, se existe un total de 156 hogares que fueron beneficiados con el programa de aislamiento térmico. Los datos utilizados tienen una estructura de panel que incluye información de los hogares para el año 2017 e información retrospectiva para el año 2015.

El levantamiento de datos se realizó entre los meses de mayo y julio de 2017, en el cual se recopiló información actual del año 2017 e información retrospectiva del año 2015, obteniéndose un seguimiento a través del tiempo de los hogares antes y después de haber obtenido algún beneficio en el marco de los programas del PDA de Temuco y Padre Las Casas para reducir la contaminación por $MP_{2,5}$. Cada hogar fue identificado por un único número de folio en ambos periodos, con lo cual se estructuró una base de datos de panel.

La variable de resultado es definida como el nivel de emisiones de $MP_{2,5}$ generado por el consumo de leña y otros energéticos para calefacción en cada vivienda, ya que se espera que la participación en este programa reduzca los requerimientos energéticos para

calefacción. La variable de tratamiento se define como una variable dicotómica que adopta el valor uno si los hogares han sido beneficiados por este programa en Temuco y Padre Las Casas. Esta variable adopta el valor cero para los hogares beneficiados en el periodo previo a la realización del mejoramiento térmico, y también, en los hogares que no fueron beneficiados en ambos periodos. Como existe un registro oficial de los postulantes efectivamente beneficiados, el cual puede diferir de lo declarado por los hogares por imprecisión o falta de conocimiento, se prioriza la información oficial cuando existe una diferencia entre ambas fuentes de información. Las variables de control incluyen aquellas que permiten caracterizar a los hogares y las viviendas en la encuesta.

Un resumen de las variables de resultado, tratamiento y control, así como sus características se presentan en la Tabla A21.

Tabla A21. Resumen de variables para la evaluación ex – post del programa de aislamiento térmico

Variable	Tipo de variable	Unidad	Periodicidad	Fuente
Consumo de leña y otros energéticos	Resultado	Kg/año	Anual	Encuesta IIT
Emisiones de MP _{2,5}	Resultado	Kg/año	Anual	Encuesta IIT
Beneficiario de aislamiento térmico	Tratamiento	Dicotómica	Anual	SEREMI MMA
Tipo de calefactor	Control	Categórica	Anual	Encuesta IIT
Estado del calefactor	Control	Categórica	Anual	Encuesta IIT
Antigüedad del calefactor	Control	Número de años	Anual	Encuesta IIT
Tipo de vivienda	Control	Categórica	Anual	Encuesta IIT
Habitaciones de la vivienda	Control	Número	Anual	Encuesta IIT
Año de construcción de la vivienda	Control	Año	Anual	Encuesta IIT
Estándar de construcción SERVIU	Control	Dicotómica	Anual	Encuesta IIT
M ² construidos	Control	M ²	Anual	Encuesta IIT
Percepción de confort térmico	Control	Categórica	Anual	Encuesta IIT
Material de construcción del piso	Control	Categórica	Anual	Encuesta IIT
Precio pagado por el energético	Control	\$/unidad	Anual	Encuesta IIT
Conocimiento del PDA	Control	Dicotómica	Anual	Encuesta IIT
Efectos negativos percibidos en el aire	Control	Categórica	Anual	Encuesta IIT
Humedad de la leña utilizada	Control	Categórica	Anual	Encuesta IIT
Tiempo de secado de la leña	Control	Número de meses	Anual	Encuesta IIT
Personas que integran el hogar	Control	Número de personas	Anual	Encuesta IIT
Personas mayores de 60 años	Control	Número de personas	Anual	Encuesta IIT
Personas menores de 15 años	Control	Número de personas	Anual	Encuesta IIT
Años de escolaridad del jefe de hogar	Control	Número de años	Anual	Encuesta IIT
Nivel de ingreso	Control	\$/mes	Anual	Encuesta IIT

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla A22 se reportan los consumos energéticos anuales para calefacción por tipo de combustible, y además, las emisiones de MP_{2,5} asociadas al uso de estos energéticos a partir de los factores de emisión reportados en GreenLabUC (2016).

Tabla A22. Descripción de variables de consumo energético y emisiones en el año 2015 y 2017 para grupo de tratamiento y control del programa de aislamiento térmico

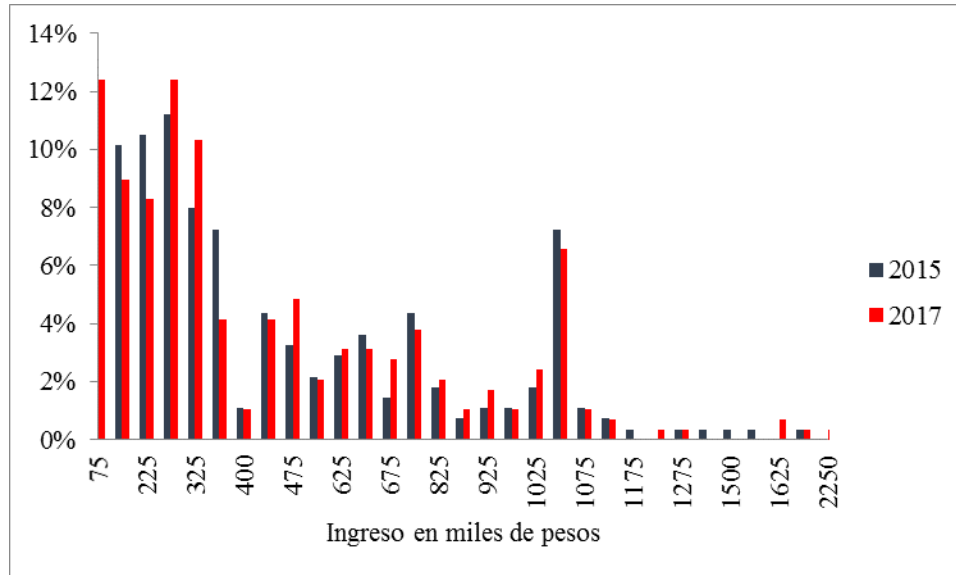
	Variable	Observaciones	Promedio	Desv. Estándar	Mínimo	Máximo
Año 2015	Consumo de leña (kg)	290	2628,7	1851,0	0,0	11364,0
	Consumo de pellet (kg)	290	0,0	0,0	0,0	0,0
	Consumo de gas (kg)	290	7,3	30,8	0,0	270,0
	Consumo de kerosene (lt)	290	7,5	40,7	0,0	420,0
	Consumo de electricidad (kw)	287	4,3	64,9	0,0	1090,0
	Emisiones de MP _{2,5} (kg)	290	24,7	24,2	0,0	180,9
Año 2017	Consumo de leña (kg)	289	2319,5	1652,0	0,0	11364,0
	Consumo de pellet (kg)	290	99,7	440,6	0,0	3744,0
	Consumo de gas (kg)	289	7,6	31,3	0,0	270,0
	Consumo de kerosene (lt)	290	23,2	102,8	0,0	800,0
	Consumo de electricidad (kw)	287	7,6	85,7	0,0	1090,0
	Emisiones de MP _{2,5} (kg)	288	19,9	18,2	0,0	103,9

Fuente: Elaboración propia

Los datos muestran que existe una reducción en el consumo promedio de leña del año 2017 respecto al consumo promedio del año 2015 pero la diferencia es solo de 309,2 kg entre ambos periodos (el valor promedio de consumo de leña es 2628,7 kg para el año 2015, que incluye a todos los hogares independientemente si consumen o no consumen leña, mientras que el valor promedio del año 2015 solo para los hogares que consumen leña es 3001 kg). También se observa que el consumo promedio de pellet se incrementa desde 0 kg hasta 99,7 kg, el consumo promedio de gas se incrementa desde 7,3 kg hasta 7,6 kg, el consumo promedio de kerosene se incrementa desde 7,5 lt hasta 23,2 lt, el consumo promedio de electricidad se incrementa desde 4,3 kw hasta 7,6 kw, y además, las emisiones de MP_{2,5} anuales promedio se reducen desde 24,7 kg hasta 19,9 kg. Cabe señalar que los cambios en los patrones de uso de combustibles diferentes a la leña probablemente están influenciados porque algunos hogares que obtuvieron el beneficio del programa de aislamiento térmico también fueron beneficiados con el programa de recambio de calefactores.

En la Figura A19 se observa que los ingresos líquidos mensuales recibidos por los beneficiarios del programa de aislación son bastante similares en ambos periodos. El ingreso líquido promedio en el año 2015 fue \$ 456.522 y en el año 2017 es \$467.931.

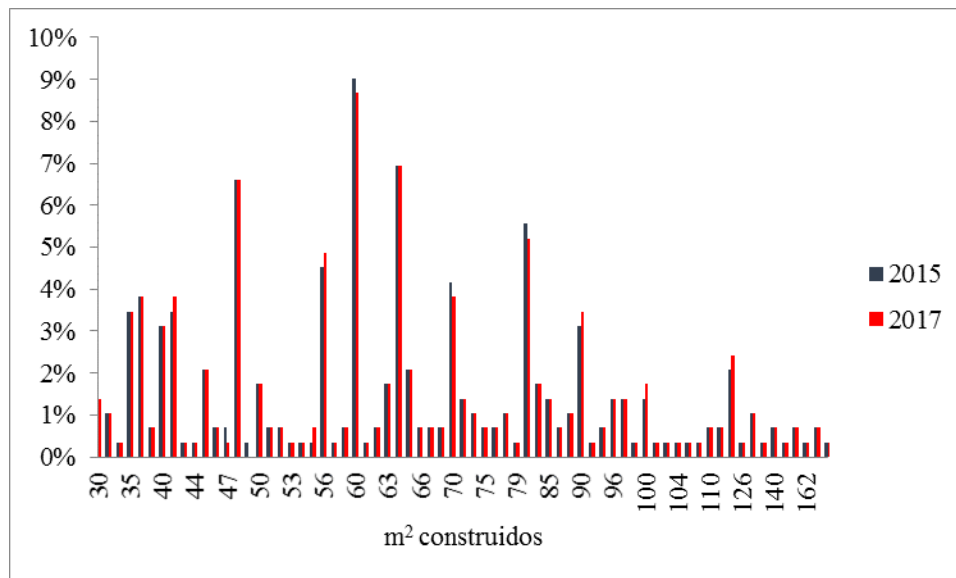
Figura A19. Distribución de ingresos



Fuente: Elaboración propia

En la Figura A20 se observa que existe bastante heterogeneidad en la superficie de las viviendas, y además, que en el periodo de tiempo considerado los m² construidos no cambiaron mucho, pero esta pequeña variabilidad permite incluirla como variable explicativa en los modelos estadísticos.

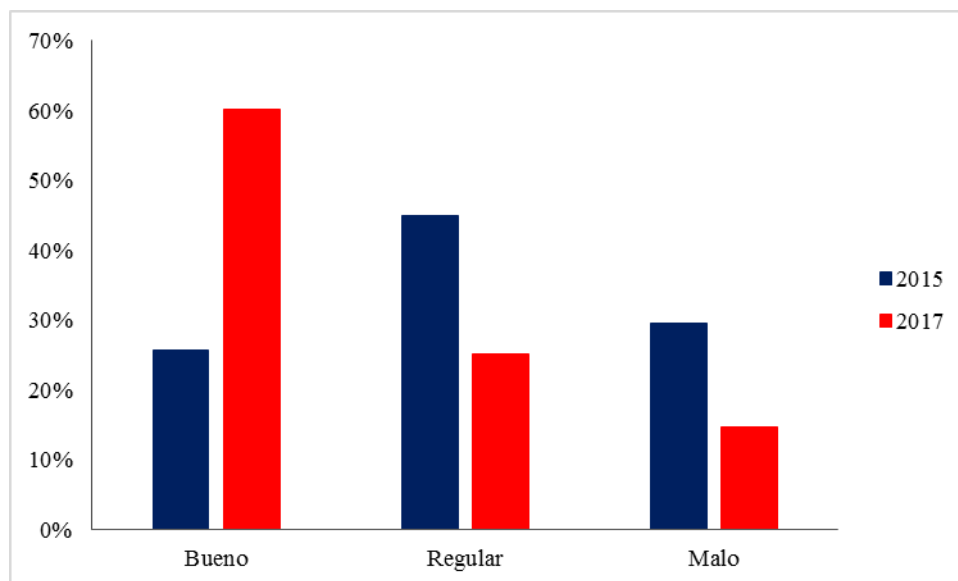
Figura A20. Distribución de metros cuadrados construidos



Fuente: Elaboración propia

También, se observa una importante mejora en el confort térmico de las viviendas en el año 2017 (ver Figura A21), lo cual contrasta con la relativamente baja reducción en el consumo de leña.

Figura A21. Distribución de percepción de confort térmico



Fuente: Elaboración propia

METODOLOGIA

Método de diferencias en diferencias

El método diferencias en diferencias (DID) compara la diferencia en el efecto promedio para el grupo que es beneficiado por el programa de recambio de calefactores antes y después del tratamiento (grupo de tratamiento), con respecto a la diferencia en el efecto promedio para el grupo que no fue beneficiario de este programa antes y después del tratamiento (grupo de control).

Así, para estimar el impacto del programa de aislación sobre las emisiones de MP_{2,5} se genera la siguiente regresión:

$$E_{it} = \alpha + \beta \cdot X_{it} + \tau^{AT}_{DID} \cdot T^{AT}_{it} + u_{it} \quad (A4)$$

Donde E_{it} corresponde a las emisiones de MP_{2,5} del hogar i en el periodo t , T^{AT}_{it} es una variable *dummy* igual a 1 si el hogar i es beneficiario del programa de aislamiento térmico en el año t , X_{it} son las variables explicativas o variables de control del hogar i en el periodo t y u_{it} es el término de error. El parámetro que determina el impacto del programa es τ^{AT}_{DID} el cual puede ser calculado como la diferencia del cambio observado antes y después en el grupo de tratamiento y el grupo de control.

En relación a las variables explicativas utilizadas, se incluyeron aquellas variables disponibles cuyo número de observaciones con datos válidos fuera el mayor posible (pocos valores *missing*). Por ejemplo, no se incluyó el año de construcción de la vivienda, la humedad de la leña, el precio de los combustibles (que se podía calcular implícitamente al dividir el gasto monetario por el consumo energético), entre otras. Lo anterior, para evitar que el número de observaciones en los modelos estadísticos se redujera demasiado.

Para evaluar la robustez los resultados se estimaron cuatro diferentes especificaciones. El primer modelo solo incluye la variable de tratamiento asociada a la participación en el programa de aislamiento térmico, el segundo modelo además incluye como variables de control las características de los equipos como antigüedad y estado del calefactor, en el tercer modelo también se agregan variables que caracterizan al hogar y la vivienda, y finalmente, en el cuarto modelo se incluye el tipo de calefactor más utilizado en la vivienda. Cabe mencionar que algunas variables como si la vivienda es tipo SERVIU, año de construcción de la vivienda o si la vivienda fue construida después del año 2007 no pueden ser incluidas porque su tasa de respuesta fue baja y/o porque no cambian a través de los dos periodos de tiempo que es una condición necesaria para la estimación con el método de diferencias en diferencias.

Método de *matching* con diferencias en diferencias

El *matching* con diferencias en diferencias (DIDM) utiliza en conjunto DID y *matching*, este último permite seleccionar de la muestra elegible un grupo de control que es similar en características observables al grupo de tratamiento, mientras que el método DID compara al grupo de tratamiento y de control (primera diferencia), antes y después del programa (segunda diferencia), lo que permite el control por características no observables que pueden afectar a ambos grupos de diferentes maneras. Este estimador fue propuesto por Heckman et al. (1997) el cual usa ponderadores para el *matching* basado en *kernel* que pondera las observaciones de forma diferente de acuerdo al tipo de *kernel* seleccionado. La mayor ventaja de usar este estimador es que permite controlar por diferencias no observables invariables en el tiempo entre las unidades del grupo de tratamiento y control.

RESULTADOS

La Tabla A23 muestra el impacto del programa de aislación térmica sobre el consumo de leña. Solamente en el primer y segundo modelo se estima una reducción estadísticamente significativa de 546 kg y 417 kg, respectivamente. Sin embargo, este resultado no es robusto cuando se incluyen variables de control del grupo familiar, vivienda y tipo de calefactor más utilizado. Además, en el modelo 4 que incluye los tipos de equipos más utilizados, se observa que aquellos hogares que utilizan calefactores a pellet, gas y kerosene reducen significativamente su consumo de leña, ya sea porque se generó un recambio con recursos privados o apoyado por un programa público de recambio. En el mismo modelo 4 otras variables resultan significativas con un efecto positivo como el número de integrantes

del hogar y la percepción de confort térmico, o bien, con un efecto negativo el nivel de ingreso, pero estas variables no fueron significativas en el modelo 3. A partir de estos resultados se puede concluir que el programa de aislación térmica no es efectivo para reducir el consumo de leña y que la reducción observada inicialmente (en los primeros dos modelos) se puede atribuir más bien a un recambio hacia calefactores que utilizan otros combustibles diferentes a la leña.

La Tabla A24 muestra el impacto del programa de aislación sobre las emisiones de $MP_{2,5}$. Los resultados son muy similares a los reportados en la Tabla A23, ya que en el primer y segundo modelo se estima un impacto negativo y estadísticamente significativo sobre las emisiones de $MP_{2,5}$, pero este efecto no es robusto ya que desaparece cuando se controla por variables caracterizadoras del hogar, vivienda y/o equipo de calefactor. En el modelo 4 se observa que las emisiones son significativamente más altas en los hogares que poseen un equipo a leña de doble cámara, mientras que las emisiones son significativamente más bajas en los hogares que poseen un calefactor a pellet, gas o kerosene.

Tabla A23. Regresiones asociadas al impacto del programa de recambio de aislamiento térmico sobre el consumo de leña (kg/año)

	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4
<i>Programa aislación</i>	-546,300 [144,9]	**	-417,000 [118,8]	**	-191,000 [202,8]		224,900 [151,0]
<i>Antigüedad equipo</i>			84,350 [31,62]	**	84,830 [33,21]	*	28,900 [27,92]
<i>Calefactor regular</i>			-610,800 [449,0]		-623,600 [455,7]		-226,500 [342,8]
<i>Calefactor malo</i>			-1046,300 [391,9]	**	-870,400 [384,2]	*	50,130 [310,2]
<i>Nº personas</i>					204,500 [128,9]		198,300 [82,48]
<i>Nº personas > 65</i>					-52,400 [269,5]		-112,200 [189,1]
<i>Nº personas < 15</i>					-311,100 [191,4]		-127,400 [134,3]
<i>M2 vivienda</i>					11,520 [14,63]		-15,770 [13,38]
<i>Confort térmico</i>					307,600 [167,7]		289,200 [116,6]
<i>Conoce PDA</i>					391,200 [224,2]		228,800 [156,2]
<i>Escolaridad</i>					245,900 [254,8]		-42,120 [184,3]
<i>Ingreso</i>					-0,001 [0,000919]		-0,002 [0,000549]
<i>Comb. lenta doble cámara</i>							-247,900 [468,2]
<i>Comb. lenta cámara simple</i>							893,800 [681,3]
<i>Salamandra</i>							-1165,200 [663,5]
<i>Estufa a pellet</i>							-2736,500 [564,6]
<i>Estufa a gas</i>							-3341,700 [979,6]
<i>Estufa a kerosene</i>							-3810,700 [886,1]
<i>Constante</i>	2621,500 [39,05]	**	2078,400 [217,8]	**	-2909,900 [3236,2]		4093,100 [1941,7]
<i>Observaciones</i>	579,000		569,000		535,000		535,000
<i>R2</i>	0,057		0,151		0,178		0,546

Fuente: Elaboración propia. Nota: Errores estándar en los paréntesis. (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Tabla A24. Regresiones asociadas al impacto del programa de aislamiento térmico sobre las emisiones de MP_{2,5} (kg/año)

	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4	
<i>Programa aislación</i>	-7,890	**	-6,103	**	-4,044		1,319	
	[1,988]		[1,515]		[2,361]		[1,475]	
<i>Antigüedad equipo</i>			1,225	**	1,202	*	0,406	
			[0,433]		[0,466]		[0,301]	
<i>Calefactor regular</i>			-5,079		-5,283		-0,444	
			[2,993]		[2,852]		[1,787]	
<i>Calefactor malo</i>			-8,981		-7,775		1,216	
			[4,999]		[4,994]		[2,681]	
<i>Nº personas</i>					0,763		0,451	
					[0,938]		[0,765]	
<i>Nº personas > 65</i>					-2,979		-3,330	
					[4,065]		[3,274]	
<i>Nº personas < 15</i>					-1,473		0,009	
					[1,801]		[1,613]	
<i>M2 vivienda</i>					0,056		-0,119	
					[0,136]		[0,0790]	
<i>Confort térmico</i>					2,434		2,172	
					[2,008]		[1,222]	
<i>Conoce PDA</i>					0,629		1,076	
					[2,586]		[1,693]	
<i>Escolaridad</i>					1,392		-1,527	
					[1,709]		[1,023]	
<i>Ingreso</i>					-2,86E-06		-1,05E-05	*
					[0,00000848]		[0,00000437]	
<i>Comb. lenta doble cámara</i>							-6,540	
							[4,436]	
<i>Comb. lenta cámara simple</i>							38,900	**
							[7,115]	
<i>Salamandra</i>							8,092	
							[8,824]	
<i>Estufa a pellet</i>							-15,370	*
							[6,588]	
<i>Estufa a gas</i>							-23,330	**
							[3,667]	
<i>Estufa a kerosene</i>							-26,540	**
							[8,002]	
<i>Constante</i>	24,440	**	15,600	**	-20,310		44,740	**
	[0,537]		[3,108]		[25,59]		[14,45]	
<i>Observaciones</i>	578		568		534		504	
<i>R2</i>	0,078		0,196		0,195		0,656	

Fuente: Elaboración propia. Nota: Errores estándar en los paréntesis. (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Los resultados de los estimadores de *matching* con diferencias en diferencias para evaluar el impacto del programa de aislamiento térmico sobre el consumo de leña y las emisiones de MP_{2,5} son presentados en la Tabla A25 y Tabla A26, respectivamente. Se reportan cinco tipos de *kernel* para hacer el emparejamiento entre las unidades del grupo de tratamiento y control, las estimaciones se calculan con errores estándares normales y errores estándares robustos, y además, se realiza una selección en base a variables observables que incluyen o no los tipos de equipo que poseen los hogares.

Tabla A25. Estimadores de *matching* con diferencias en diferencias para determinar el impacto del programa de aislación térmica sobre el consumo de leña (kg/año)

Tipo de kernel	Equipo	Diff-in-Diff	Desv. estándar	t estadístico	valor-p
kernel epanechnikov	Sin equipos	-466,931	298,893	1,56	0,119
kernel epanechnikov (robusto)	Sin equipos	-466,931	321,826	1,45	0,147
kernel gaussiano	Sin equipos	-457,619	297,443	1,54	0,124
kernel gaussiano (robusto)	Sin equipos	-457,619	312,775	1,46	0,144
kernel biweight	Sin equipos	-459,123	299,151	1,53	0,125
kernel biweight (robusto)	Sin equipos	-459,123	323,490	1,42	0,156
kernel uniforme	Sin equipos	-483,366	298,170	1,62	0,106
kernel uniforme (robusto)	Sin equipos	-483,366	319,521	1,51	0,131
kernel tricube	Sin equipos	-477,296	298,501	1,60	0,110
kernel tricube (robusto)	Sin equipos	-477,296	319,980	1,49	0,136
kernel epanechnikov	Con equipos	-377,993	294,748	1,28	0,200
kernel epanechnikov (robusto)	Con equipos	-377,993	336,423	1,12	0,262
kernel gaussiano	Con equipos	-381,914	294,075	1,30	0,195
kernel gaussiano (robusto)	Con equipos	-381,914	325,212	1,17	0,241
kernel biweight	Con equipos	-378,688	294,472	1,29	0,199
kernel biweight (robusto)	Con equipos	-378,688	338,546	1,12	0,264
kernel uniforme	Con equipos	-380,042	295,889	1,28	0,200
kernel uniforme (robusto)	Con equipos	-380,042	338,787	1,12	0,262
kernel tricube	Con equipos	-378,097	295,306	1,28	0,201
kernel tricube (robusto)	Con equipos	-378,097	336,002	1,13	0,261

Fuente: Elaboración propia. Nota: (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

A partir de las estimaciones realizadas se puede concluir con un 95% de confianza que el programa de aislamiento térmico no genera un impacto sobre el consumo de leña ni sobre las emisiones de MP_{2,5}. Este resultado pareciera ser algo extraño porque mejorar el aislamiento térmico debiese implicar un menor requerimiento energético, lo cual efectivamente se observa en los resultados de la Tabla A25 con reducciones promedio entre 377 kg/año y 483 kg/año por vivienda aislada en cada estimación de *matching* con diferencias en diferencias, pero la alta variabilidad en la reducción de cada hogar reflejada en la desviación estándar es la que impide afirmar que la reducción en el consumo de leña por participar en el programa de aislación es diferente cero con un 95% de confianza. La alta variabilidad en la reducción de consumo de leña por hogar se podría explicar de modo intuitivo porque los hogares después del mejoramiento en la vivienda prefieren incrementar su confort térmico sin reducir demasiado su gasto en leña, fugas de calor por la apertura de puertas debido a la composición o rutina diaria del grupo familiar, razones culturales pueden provocar que se regule el nivel de calefacción abriendo puertas o ventanas en vez

de reducir el consumo, entre otros factores. Independientemente de las posibles explicaciones, esta evaluación ex – post muestra que los recursos destinados a este programa deberían reasignarse al programa de recambio de calefactores para generar mejoras efectivas en términos medioambientales.

Tabla A26. Estimadores de *matching* con diferencias en diferencias para determinar el impacto del programa de aislamiento térmica sobre las emisiones de MP_{2,5} (kg/año)

Tipo de kernel	Equipo	Diff-in-Diff	Desv. estándar	t estadístico	valor-p
kernel epanechnikov	Sin equipos	-6,059	3,643	1,66	0,097
kernel epanechnikov (robusto)	Sin equipos	-6,059	3,825	1,58	0,114
kernel gaussiano	Sin equipos	-5,712	3,636	1,57	0,117
kernel gaussiano (robusto)	Sin equipos	-5,712	3,772	1,51	0,130
kernel biweight	Sin equipos	-6,027	3,642	1,66	0,098
kernel biweight (robusto)	Sin equipos	-6,027	3,841	1,57	0,117
kernel uniforme	Sin equipos	-6,092	3,657	1,67	0,096
kernel uniforme (robusto)	Sin equipos	-6,092	3,851	1,58	0,114
kernel tricube	Sin equipos	-6,094	3,649	1,67	0,095
kernel tricube (robusto)	Sin equipos	-6,094	3,824	1,59	0,112
kernel epanechnikov	Con equipos	-5,272	3,846	1,37	0,171
kernel epanechnikov (robusto)	Con equipos	-5,272	4,650	1,13	0,257
kernel gaussiano	Con equipos	-5,376	3,840	1,40	0,162
kernel gaussiano (robusto)	Con equipos	-5,376	4,534	1,19	0,236
kernel biweight	Con equipos	-5,207	3,852	1,35	0,177
kernel biweight (robusto)	Con equipos	-5,207	4,714	1,10	0,270
kernel uniforme	Con equipos	-5,315	3,847	1,38	0,168
kernel uniforme (robusto)	Con equipos	-5,315	4,599	1,16	0,248
kernel tricube	Con equipos	-5,307	3,840	1,38	0,168
kernel tricube (robusto)	Con equipos	-5,307	4,590	1,16	0,248

Fuente: Elaboración propia. Nota: (*) Significativo al 5% y (**) Significativo al 1%

Un resumen de los principales resultados obtenidos y cuadro comparativo con las estimaciones ex – antes utilizadas en el AGIES se presentan en la Tabla A27.

Tabla A27. Resumen de resultados de la evaluación ex - post del programa de recambio de aislamiento térmico

Tratamiento	Impacto estimado	Robustez de impacto	Valor de impacto recomendado	Intervalo de confianza al 95%	Supuesto ex - ante de AGIES
Aislamiento térmico	Se estima una reducción de 0 kg/año de consumo de leña y 0 kg/año de emisiones de MP _{2,5}	Sí	0 kg/año de MP _{2,5} por vivienda aislada	[-13,8 ; 1,6] kg/año de MP _{2,5} por vivienda aislada.	Reducción desde 20 kg/año hasta 57 kg/año de MP _{2,5} dependiendo del tipo de vivienda y mejoramiento térmico realizado (Fuente: GreenLabUC, 2013)

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Para estimar el impacto del programa de aislamiento térmico se utilizó una base de datos construida a partir de un levantamiento de encuestas en terreno que incluyó información sobre los niveles de consumo de leña y otras características de los hogares beneficiados y no beneficiados por estos programas. La metodología de diferencias en diferencias fue seleccionada para identificar el impacto de este programa, pero además por la naturaleza de los datos a nivel de hogares también se utilizó el método de *matching* con diferencias en diferencias.

A partir de los resultados obtenidos con el método de diferencias en diferencias se demuestra que este programa no reduce el nivel de emisiones de MP_{2,5}, ni tampoco es efectivo para reducir el consumo de leña. Aun cuando se observa una reducción promedio en todas las estimaciones, lo cual concuerda con el *feedback* que afirma haber recibido el personal de calidad del aire de la SEREMI del Medioambiente de la región de La Araucanía, la alta variabilidad en los resultados por hogar no permite asegurar con un 95% de confianza que esa reducción es diferente de cero. Estos resultados también se obtienen con el método de *matching* con diferencias en diferencias. Lo anterior, se podría explicar intuitivamente porque los hogares en ausencia del programa no alcanzan un nivel de confort adecuado, y luego del aislamiento térmico prefieren no reducir significativamente su consumo de leña, o bien, por la apertura de puertas debido al flujo de personas que entran y salen del hogar, costumbre de utilizar leña, entre otros factores. Cabe destacar que el programa sí genera mejoras en la percepción de confort térmico, lo cual implica que los hogares beneficiados mejoran su bienestar aun cuando mantienen su consumo de leña y emisiones. Pero como esta evaluación ex – post se enfoca en la efectividad para mejorar la calidad ambiental, se concluye que la reducción de emisiones podría ser mayor si se focalizan los recursos de este programa hacia el recambio de calefactores. Cabe señalar que la mayoría de los estudios previos sobre acondicionamiento térmico se basan en metodologías ex – ante de simulación, y los pocos estudios que han levantado datos sobre

consumo de leña para calefacción incorporando sensores de temperatura no tienen muestras representativas ni han utilizado metodologías de evaluación ex – post (ver sección 4.3.5). Aun cuando este estudio es el primero en utilizar una metodología diseñada para realizar evaluación del impacto del programa bajo un contexto ex – post, los resultados obtenidos concuerdan con estudios previos que han levantado datos de consumo de leña en relación a que se observa una reducción promedio en su consumo, y también, en el hecho que esa reducción promedio no es estadísticamente significativa de cero. Así, la diferencia fundamental es que este estudio tiene que una muestra representativa de la población beneficiaria de este programa en Temuco y Padre Las Casas.

Finalmente, se puede mencionar que esta evaluación ex – post permite modificar los supuestos utilizados en las evaluaciones ex – ante del programa de mejoramiento térmico, aun cuando existe una reducción promedio obtenida con el método de diferencias en diferencias, la alta variabilidad de los resultados permite afirmar desde un punto de vista estadístico con un 95% de confianza que la reducción no es diferente de 0 kg/año de $MP_{2,5}$ por vivienda. No obstante, se debe mencionar que la evaluación ex – post realizada corresponde al programa de aislamiento térmico tal como fue implementado entre los años 2015 a 2016, lo cual significa que potenciales mejoras en el programa que generen mayores niveles de aislación, homogenización en la ejecución de los trabajos de mejoramiento de viviendas y/o medidas complementarias de sensibilización o educación en el uso de energía en el hogar y sobre cómo evitar fugas de calor en el hogar luego de la intervención de la vivienda, podrían ayudar a que en el futuro el programa tenga una evaluación más positiva sobre su efectividad ex – post en términos medioambientales.

ANEXO B: PROPUESTA DE CAPACITACIÓN

PROPUESTA DE CAPACITACIÓN

Descripción de la capacitación

La capacitación propuesta tiene por objetivo que los asistentes adquieran y comprendan los aspectos conceptuales, métodos y herramientas estadísticas comúnmente usadas en la evaluación ex - post. También contempla la aplicación práctica de los conocimientos, al replicar los resultados obtenidos en la evaluación ex – post de los programas evaluados en el marco del PDA de Temuco y Padre Las Casas.

Resultados de aprendizaje esperados

- Identificar los distintos métodos cuantitativos aplicables a la naturaleza de datos disponibles en el marco del PDA de Temuco y Padre Las Casas.
- Aplicar con fundamentos conceptuales los métodos estadísticos adecuados para resolver problemas de evaluación ex - post.
- Interpretar los resultados de los análisis de evaluación de impacto ex - post realizados con datos reales en el marco del PDA de Temuco y Padre Las Casas.
- Comparar resultados de métodos alternativos.

Contenidos y programación

- **Introducción:** Definición de evaluación de impacto, ejemplos de políticas evaluadas en Chile, evaluación ex - ante vs evaluación ex – post, objetivo de evaluación ex – post, ventajas de evaluación ex - post y definición de escenario contrafactual. Duración (1 hora). Programación: 09:45 hrs. a 10:45 hrs.
- **Coffee break** Duración (15 minutos).
- **Etapas en la evaluación de impacto:** Preguntas de evaluación, hipótesis a evaluar, inferencia causal, selección de indicadores de impacto, sesgo de selección, validez interna, validez externa, disponibilidad de datos, patrones temporales, multiplicidad de tratamientos, heterogeneidad del tratamiento, características de los datos, clasificación de metodologías de evaluación ex – post. Duración (2 horas). Programación: 11:00 hrs. a 13:00 hrs.
- **Break para almuerzo.** Duración (1,5 horas).
- **Metodologías de evaluación utilizadas en el marco del PDA de Temuco y Padre Las Casas:** diferencias en diferencias, *matching* con diferencias en diferencias. Duración (2 horas). Programación: 14:30 hrs. a 16:30 hrs.
- **Coffee break** Duración (15 minutos).

- **Replicar las evaluaciones realizadas en el marco del PDA de Temuco y Padre Las Casas:** introducción a software para análisis estadísticos, códigos para aplicación de diferencias en diferencias, códigos para *matching* con diferencias en diferencias. Duración (1 hora). Programación: 16:45 hrs. a 17:45 hrs.

Lugar y material de apoyo

El salón de capacitación que se arrendará para desarrollar esta actividad se encuentra ubicado en Av. Nueva Providencia 1860 – Providencia, Piso 15 Of. 151. El salón dispone de data show, conexión a Internet enlace dedicado de fibra óptica (20 Mbps nacional y 5 Mbps internacional), 5 PC en Red Intel i3 3.0 GHz 4 GB Ram que permitirán la replicación de las evaluaciones ex – post con software estadístico. Además, a los asistentes se les proporcionará el material impreso con los contenidos abordados en la capacitación, que incluye el material teórico, y también, los procedimientos paso a paso para la replicación de las evaluaciones ex – post ejecutadas durante la consultoría.

La fecha propuesta para la capacitación es el día miércoles 15 de Noviembre, la cual está sujeta a la coordinación con la contraparte técnica y disponibilidad de salas.