

Incidencia de las medidas de reacondicionamiento térmico de viviendas existentes sobre el plan de descontaminación atmosférica de las comunas de Chillán y Chillán Viejo.

Incidence of measures of thermal reconditioning of existing houses on the atmospheric decontamination plan of the communes of Chillán and Chillán Viejo.

Paula Vega Soto

Resumen

Las ciudades del centro-sur de Chile han presentado episodios críticos de contaminación del aire durante el periodo invernal, debido principalmente al uso de leña para calefaccionar los hogares, lo cual asociado a precarias condiciones de aislación térmica del parque de viviendas existentes han generado un alto consumo de energía y empeorado la calidad del aire respirable. Debido a este problema la autoridad ha implementado Planes de Descontaminación Atmosférica P.D.A., cuya medida estructural ha sido la aplicación de subsidios de reacondicionamiento térmico en viviendas existentes con la finalidad de disminuir el consumo de leña y emisiones de material particulado. Esta investigación centra su análisis en la cuantificación de la incidencia que esta medida tiene en la aplicación del P.D.A. en las comunas de Chillán y Chillán Viejo, estimando a través de simulaciones dinámicas el consumo de calefacción para distintas tipologías de viviendas objeto del subsidio, distintas condiciones normativas de reacondicionamiento térmico así como distintos equipos calefactores a leña y condiciones de operación. Se concluye que dependiendo de la estrategia de reacondicionamiento térmico es posible reducir el nivel de emisiones de material particulado MP 10 entre un 3.61% y 5.60%, en un universo de 20.000 viviendas, meta del P.D.A. en un plazo de diez años.

Palabras claves: Reacondicionamiento térmico de viviendas existentes, Plan de Descontaminación Atmosférica, MP10, consumo de energía de calefacción.

Abstract

The central-southern cities of Chile have presented critical episodes of air pollution during the winter period, mainly due to the use of firewood to heat homes, which, in association with the precarious conditions of thermal insulation of the existing housing stock, has generated high energy consumption and worsened the quality of breathable air. Due to this problem, the authorities has promoted Atmospheric Decontamination Plans (PDA, in Spanish), whose structural measure has been the implementation of thermal reconditioning subsidies for existing housing, with the purpose of reducing the consumption of firewood and emissions of particulate matter. This research focuses its analysis on the quantification of the incidence that this measure has in the application of the PDA in the communes of Chillan and Chillan Viejo, estimating through dynamic simulations the consumption of heating for different typologies of dwellings that are part of the subsidy, different regulatory conditions of thermal reconditioning as well as different wood-burning equipment and operating conditions. In conclusion, depending on the thermal reconditioning strategy, it's possible to reduce the PM10 particulate matter emissions level between 2% and 11%, in a universe of 20,000 dwellings, goal of the PDA within 10 years.

Keywords: Thermal reconditioning for existing housing, Atmospheric Decontamination Plan, PM10, Heating energy consumption.

Paula E. Vega Soto
Universidad del BíoBío
Concepción – Chile

Gerardo Saelzer Fuica
Universidad del BíoBío
Concepción - Chile

Introducción

Una gran parte de la población mundial utiliza leña para cocinar y calentar el hogar, sobre todo en los países en desarrollo. El consumo de leña como combustible asciende a casi la décima parte del total de la demanda de energía a nivel mundial

y dos tercios del consumo pertenece a viviendas, lo cual ha provocado en algunas ciudades episodios críticos de contaminación del aire producto de las altas concentraciones de material particulado respirable.

“La combustión incompleta de leña en los hogares produce un humo dañino para la salud humana”
(Smith K.R 2006).

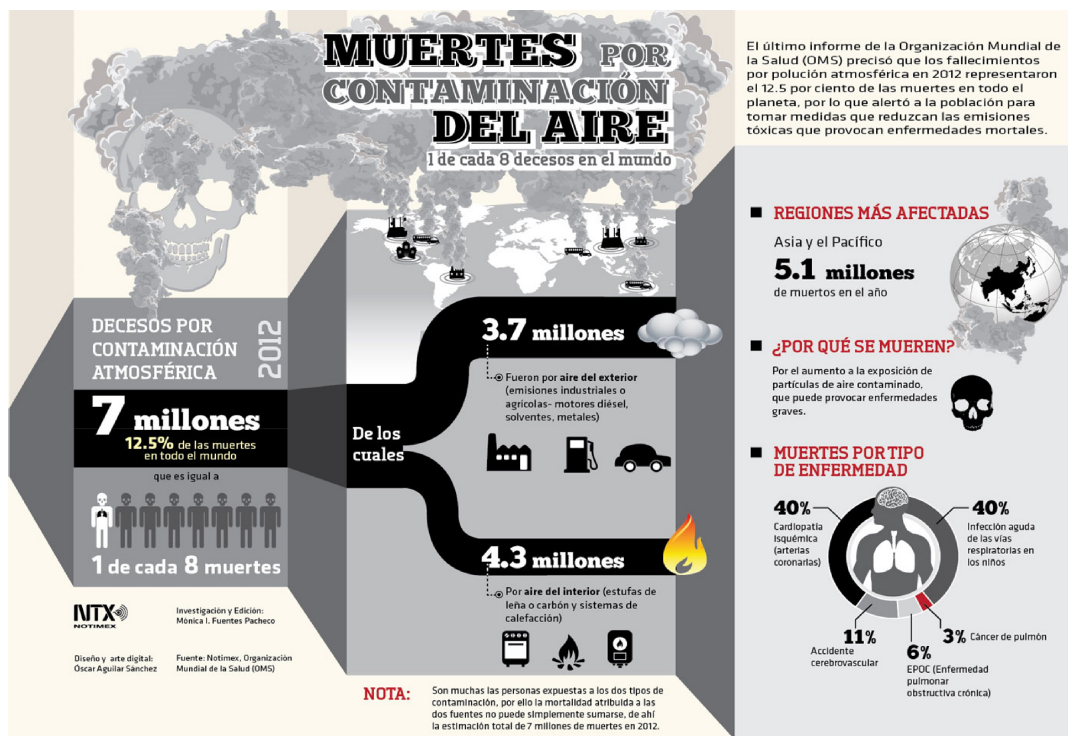


Figura N°1: Causas y efectos de la contaminación del aire a nivel mundial.

Actualmente, el reacondicionamiento térmico de viviendas existentes en Chile representa uno de los mayores desafíos en la reducción del consumo de energía a nivel país, puesto que el 21% del consumo de energía primaria corresponde a la energía consumida por la operación de las edificaciones, del cual un 41% es consumido por las viviendas por concepto de calefacción (Ministerio de Energía, 2014), de lo cual un 46.6% corresponde a la utilización de leña como combustible para calefaccionar los hogares.

Por otra parte, un 86% de las viviendas existentes no posee estándares de aislación térmica en su construcción, aproximadamente MM 4,4 de viviendas, y a través de la implementación del programa de subsidios de reacondicionamiento térmico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile, MINVU, se ha logrado incorporar aislación térmica en 70.000 viviendas del país, desde el año 2009 al año 2015, lo que equivale a un 5% del total de viviendas posibles de intervenir. (Ministerio de Energía, 2016).

Si bien el subsidio de reacondicionamiento térmico de viviendas existentes nace como una de las estrategias para lograr la reducción del consumo de energía primaria del país, esta medida es asumida como uno de los ejes estructurales de los actuales Planes de Descontaminación Atmosférica, P.D.A., de las ciudades del centro sur de Chile, ya que mediante este instrumento de gestión ambiental se aumenta el estándar de eficiencia energética por sobre lo exigido en reglamentación térmica de viviendas, señalada en el artículo 4.1.10 de la

Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, O.G.U.C., cuyo objetivo principal es lograr una reducción significativa de consumo de leña para calefaccionar las viviendas y, por ende, disminuir los altos índices de material particulado respirable MP10 y MP2.5, dañinos para la salud de la población residente de estas ciudades.

La contaminación atmosférica es el principal desafío para la autoridad ambiental en Chile, ya que según información reportada por el Ministerio de Medio Ambiente, MMA, alrededor de 10 millones de personas en el país están expuestas a una concentración promedio anual de MP2.5 superior a la norma. Tal es el caso de las comunas de Chillán y Chillán Viejo, localidades objeto de esta investigación, que tienen más de 180 mil habitantes, quienes se encuentran expuestos a significativas concentraciones de material particulado MP10 y MP2.5. Se ha establecido además que la principal fuente de contaminación es la leña, utilizada tanto en la cocina como en la calefacción al interior de los hogares durante la temporada de invierno. Esto afecta mayormente al área urbana. En cifras, la leña es responsable del 86% de emisiones totales anuales por MP10 y MP 2.5 en la comuna de Chillán y el 93% de emisiones totales anuales por MP10 y MP2.5 en Chillán Viejo. (Tabla N°1). En ambas comunas existen 60 mil viviendas y en total existen unos 50 mil artefactos a leña, por lo que se infiere que en cada hogar existe un calefactor, una cocina o ambos. (Ministerio de Medio Ambiente, 2016).

Tabla N° 1 : Inventario de Emisiones comunas de Chillán y Chillán Viejo.

FUENTES DE EMISIÓN	MP₁₀ TON/AÑO	MP_{2,5} TON/AÑO	SO_x TON/AÑO	NO_x TON/AÑO	NH₃ TON/AÑO	CO TON/AÑO
Residencial	4.696	4.562	32	195	0	52.077
Quemas e Incendios Forest.	213	191	0	3	0	66
Fuentes Fijas	103	89	6.719	4.423	99	10.812
Móviles en ruta	385,1	75,5	20	574	12	2.784
Móviles fuera de ruta	-	-	2.715	406	0	12
Fugitivas	56,7	-	-	-	-	-
Otras	-	-	325	12	367	4
TOTAL	5.454	4.917	9.811	5.613	478	65.755

(Fuente: Actualización de Inventario de Emisiones en Ton/año, 2012).



Figura N°2: Factores de origen de los altos niveles de contaminación atmosférica de las comunas de Chillan y Chillán Viejo.

Las causas que han determinado el origen de los episodios críticos en la contaminación del aire de ambas comunas son las siguientes:

- Alta demanda energética por concepto de calefacción de las viviendas por no poseer aislación térmica.
- Bajas temperaturas, desde marzo a fines de septiembre, período en que se concentra el consumo y uso de leña.
- Menor precio de venta que presenta la leña, comparado con el de otros combustibles tales como gas, petróleo, parafina y electricidad.
- Alta disponibilidad local del combustible.
- Arraigo cultural asociado al uso de la leña como único medio para

calefaccionar los hogares. (P.D.A. Chillán- Chillán Viejo, 2016).

Por lo expuesto anteriormente, el P.D.A. de Chillán y Chillan Viejo pone especial énfasis en la reducción de emisiones provenientes de la combustión residencial de leña, complementado con medidas de control de fuentes industriales de transporte y control de quemas agrícolas. De esta forma, el Plan de Descontaminación Ambiental (P.D.A) para ambas comunas establece, entre otras medidas, regular el mercado de leña y optimizar el plan de reacondicionamiento térmico de viviendas, principalmente a través de subsidios para viviendas existentes.

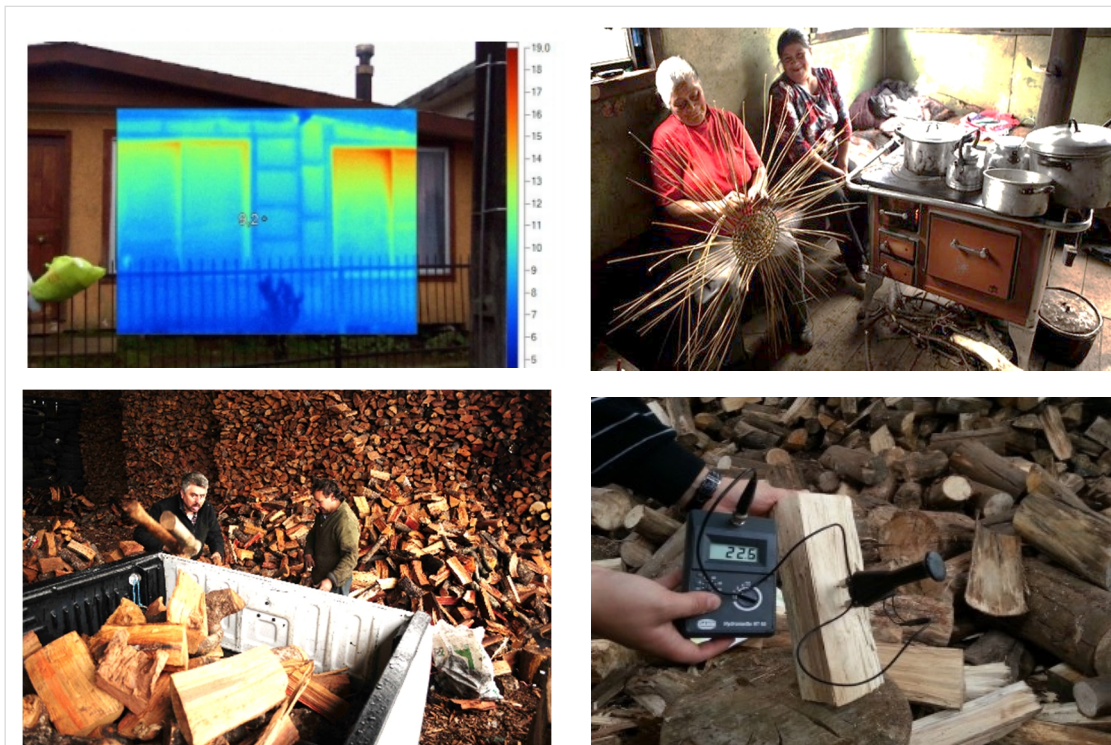


Figura N°3: Origen de los episodios de contaminación atmosférica.

El plan de subsidios para el reacondicionamiento térmico de viviendas existentes en las comuna de Chillán y Chillán Viejo ha sido implementado desde el año 2009, primero con la incorporación del estándar normativo establecido al cumplimiento del artículo 4.1.10 de la O.G.U.C. el cual se basa únicamente en la temperatura de calefacción necesaria para lograr un confort habitable en las viviendas, de acuerdo a los grados-día y altitud de cada localidad; en ella se definen 7 zonas térmicas, considerando la división político-administrativa de las distintas ciudades del país. (Romero, N. 2011). Durante esta etapa el programa de subsidios para el reacondicionamiento térmico es aplicado solo a viviendas existentes de carácter social, con un subsidio de hasta 100 U.F.¹, a través del Programa de Protección del Patrimonio Familiar MINVU.

Desde el año 2016 a la fecha, la operatoria del programa de subsidios para el reacondicionamiento térmico de viviendas se encuentra regulado en aquellas ciudades en que es pertinente por el estándar normativo establecido por el P.D.A, mediante el cual se ha establecido aumentar el estándar indicado por la O.G.U.C. solo para el caso del complejo de

muros y además se incorporan medidas de hermeticidad de la envolvente y sistema de ventilación que garantice la calidad del aire interior, todos parámetros obligatorios al momento de la formulación de este tipo de proyectos.

Cabe indicar que el subsidio de reacondicionamiento térmico bajo la línea del P.D.A., puede ser aplicado a viviendas sociales y no sociales (viviendas de sectores medios), para lo cual el estado entrega un subsidio base, igual para todas las viviendas, el cual dependiendo del valor del proyecto puede ser complementario con un cofinanciamiento por parte de cada propietario. En este contexto puede postular y ser asignado un subsidio a cualquier tipo de vivienda, no existiendo criterios de selección referidos al comportamiento energético y ambiental de cada vivienda. Si bien otra de las medidas asociadas al P.D.A. tiene que ver con el programa de subsidios para el recambio de artefactos de calefacción, por uno de mejor eficiencia y tecnología, estas medidas no se encuentran asociadas, es decir los subsidios son asignados por vía paralela y no de forma complementaria.

¹ U.F. es una unidad de cuenta usada en Chile, reajutable de acuerdo con la inflación. (Wikipedia)

Tabla N° 2: Transmitancia térmica máxima de la envolvente térmica bajo distintos escenarios normativos para el Reacondicionamiento térmico de las comunas de Chillán y Chillan Viejo.

Elemento	Estándar	4.1.10 O.G.U.C.	P.D.A. Chillan- Chillán Viejo
Techo	Valor U [W/(m²°C)]	0,38	0,38
Muro		1,70	0,45
Piso ventilado		0,60	0,60

(Fuente: Elaboración propia en base al artículo 4.1.10 Ordenanza General de Urbanismo y Construcción y Plan de Descontaminación Atmosférica de Chillán y Chillán Viejo.)

Tabla N° 3: Cantidad de subsidios ejecutados en las comunas de Chillán y Chillán Viejo bajo el parámetro 4.1.10 O.G.U.C.

AÑO	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total
CANTIDAD DE SUBSIDIOS EJEUTADOS	330	635	550	1125	1155	957	0	4752

(Fuente: SEREMI del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Región del Biobío).

Tabla N° 4: Cantidad de subsidios ejecutados en las comunas de Chillán y Chillán Viejo bajo el parámetro P.D.A.

AÑO	2016
CANTIDAD DE SUBSIDIOS	249

(Fuente: SEREMI del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Región del Biobío.)

Descripción climática del emplazamiento.

Las comunas de Chillán y Chillán Viejo se caracterizan por un tipo de clima templado cálido con estación seca en los meses de verano y lluviosa en los meses de invierno. De acuerdo a la clasificación del clima de Köppen-Geiger estas comunas poseen un clima templado cálido con lluvias invernales Csb. (D'Alençon, R. 2008).

La temperatura media para un año normal es de 13,05 °C y precipitaciones de más de 1.000 mm. El mes más frío es julio con temperaturas que oscilan entre 1°C y 5°C, con mínimas absolutas más significativas donde alcanzan hasta -6°C. Las bajas notables de temperatura observadas en este período, se deben al avance de masas de aire frío polar que penetran

al interior del país y la presencia de la Cordillera de la Costa que impide que llegue la influencia moderadora del mar. Durante el año se presentan marcadas diferencias de temperatura mostrando una variación anual de unos 6°C entre enero y julio, para los valores medios. Por otra parte, las extremas absolutas pueden variar entre los -6°C (julio) y 34°C (enero), son las temperaturas extremas de los meses invernales las que hacen particularmente intensivo el uso de calefacción residencial en la ciudad.

La frecuencia promedio de la dirección de los vientos tiene un sentido predominante suroeste, con mayor frecuencia entre los meses de enero y abril y entre septiembre y diciembre, disminuyendo su velocidad entre marzo y agosto. La condición de viento Suroeste se asocia mayoritariamente a días despejados y bajas temperaturas en invierno (anticiclón frío), lo que en principio se ha asociado a episodios de contaminación, por periodos de ventilación desfavorables, inversiones térmicas y baja dispersión de contaminantes. (Ministerio de Medio Ambiente, 2016).

Metodología

Descripción de los casos de estudio.

De acuerdo a los antecedentes anteriormente expuestos este estudio se centra en el análisis del Plan de subsidios de reacondicionamiento térmico de viviendas existentes de las comunas de Chillán y Chillán viejo, el

cual ha sido aplicado bajo dos escenarios normativos: en una primera etapa entre los años 2009 al 2015 el marco regulatorio que establece el estándar térmico al cual se deben acoger los proyectos de reacondicionamiento de viviendas existentes, es el artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones O.G.U.C., el cual solo determina parámetros de transmitancia y/o resistencia térmica a cumplir por cada elemento de la envolvente: complejo de techumbre, muros y piso ventilado.

Desde el año 2016 a la fecha entra en vigencia el nuevo estándar planteado por el Plan de Descontaminación Atmosférica P.D.A. de estas comunas, el cual establece mayores exigencias en el cumplimiento de transmitancia y/o resistencia térmica para el complejo de muros, así como también integra medidas asociadas a generar hermeticidad en la envolvente y a proveer de un sistema de ventilación que garantice la calidad del aire interior de las viviendas.

Para la definición de los casos de estudio de ambas comunas, se analiza la información aportada por la Delegación Ñuble del Servicio de Vivienda y Urbanización, de las tipologías de viviendas intervenidas y posibles de intervenir actualmente bajo el parámetro del subsidio de reacondicionamiento térmico P.D.A., la cual es analizada en terreno para reconocer sus características físico-constructivas.

De esta forma se definen 6 tipologías de viviendas objeto de análisis, las cuales se encuentran determinadas por su sistema de agrupamiento.

Respecto a la orientación se define la orientación norte para la fachada principal de todas las viviendas.

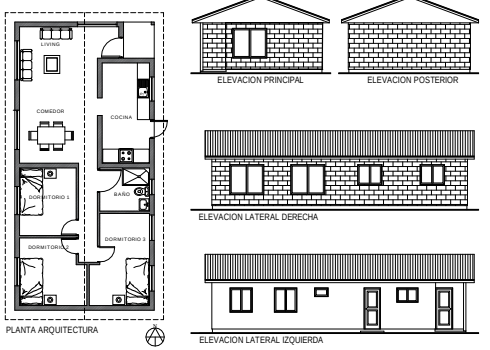
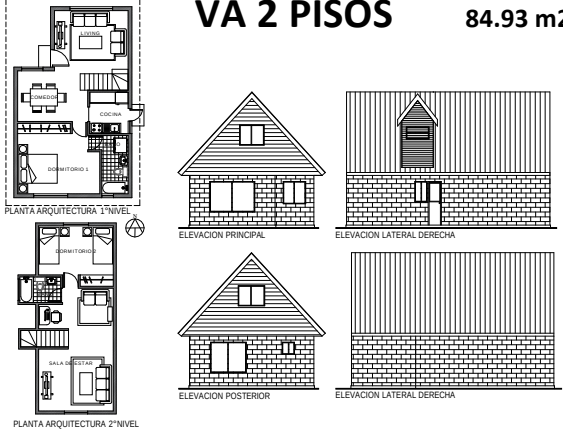
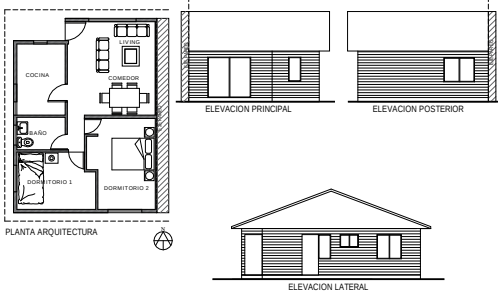
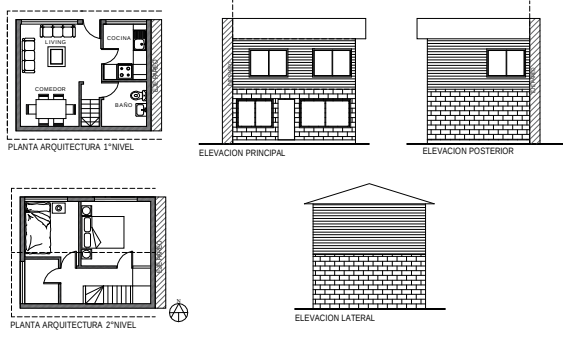
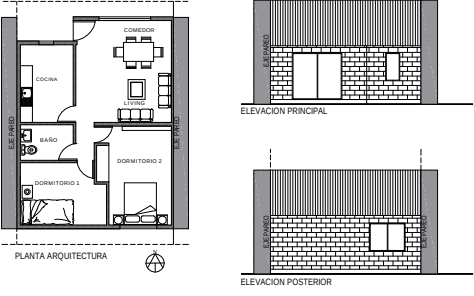
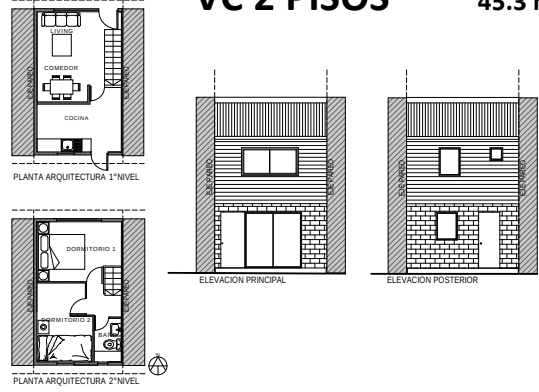
Cabe indicar que estas tipologías corresponden además a modelos representativos de ambas comunas del parque habitacional existente, siendo viviendas sociales y viviendas de sectores medios.

Tabla N°5: Tipologías de viviendas analizadas de la comuna de Chillán y Chillán Viejo.

TIPO DE VIVIENDA Y SISTEMA DE AGRUPAMIENTO	PARÁMETRO DE LA ENVOLVENTE	MATERIALIDAD POR PARAMETRO DE LA ENVOLVENTE	ESCENARIO BASE SIN AISLACION TERMICA U W/M²k	LINEA BASE HERMETICIDAD ENVOLVENTE n50
VA 1 Vivienda Aislada 1 piso 64 m²	TECHUMBRE	Estructura en base a cerchas de madera	2,23	11,8
	MUROS	Albañilería	2,64	
	PISO VENTILADO	Vivienda no consulta	N/C	
	VENTANAS	Vidrio simple marco acero	5,9	
	PUERTAS	Pino maciza	2,57	
VA 2 Vivienda Aislada 2 pisos 84,93 m²	TECHUMBRE	Estructura envigado oculto madera	2,25	15
	MUROS	1º piso albañilería ; 2º piso madera	2,6	
	PISO VENTILADO	Vivienda no consulta	N/C	
	VENTANAS	Vidrio simple marco aluminio	5,9	
	PUERTAS	Pino tablero	2,57	
VP1 Vivienda Pareada 1 piso 49,71 m²	TECHUMBRE	Estructura en base a cerchas de madera	2,34	24,6
	MUROS	Madera	2,62	
	PISO VENTILADO	Vivienda no consulta	N/C	
	VENTANAS	Vidrio simple marco acero	5,9	
	PUERTAS	Pino maciza	2,57	
VP2 Vivienda Pareada 2 pisos 50,32 m²	TECHUMBRE	Estructura en base a cerchas de madera	2,34	15
	MUROS	1º piso albañilería ; 2º piso madera	2,63	
	PISO VENTILADO	Vivienda no consulta	N/C	
	VENTANAS	Vidrio simple marco acero	5,9	
	PUERTAS	Pino maciza	2,57	
VC1 Vivienda Continua 1 piso 53,36 m²	TECHUMBRE	Estructura en base a cerchas de madera	2,34	11,8
	MUROS	Albañilería	2,64	
	PISO VENTILADO	Vivienda no consulta	N/C	
	VENTANAS	Vidrio simple marco acero	5,9	
	PUERTAS	Pino tablero	2,57	
VC2 Vivienda Continua 1 piso 45,3 m²	TECHUMBRE	Estructura en base a cerchas de madera	2,34	15
	MUROS	1º piso albañilería ; 2º piso madera	2,633	
	PISO VENTILADO	Vivienda no consulta	N/C	
	VENTANAS	Vidrio simple marco acero	5,9	
	PUERTAS	Pino tablero	2,57	

(Fuente: Elaboración propia).

Figura N°4: Tipologías de viviendas analizadas de la comuna de Chillán y Chillán Viejo.

VIVIENDA AISLADA	VA 1 PISO 64 m ² 	VA 2 PISOS 84.93 m ² 
	VP 1 PISO 49.71 m ² 	VP 2 PISOS 50.32 m ² 
	VC 1 PISO 53.36 m ² 	VC 2 PISOS 45.3 m ² 

SIMBOLOGIA

VA 1: Vivienda Aislada un piso.
VA 2: Vivienda Aislada dos pisos.

VP 1: Vivienda Pareada un piso.
VP 2: Vivienda Pareada dos pisos.
VC 1: Vivienda continua un piso.
VC 2: Vivienda Continua dos pisos.

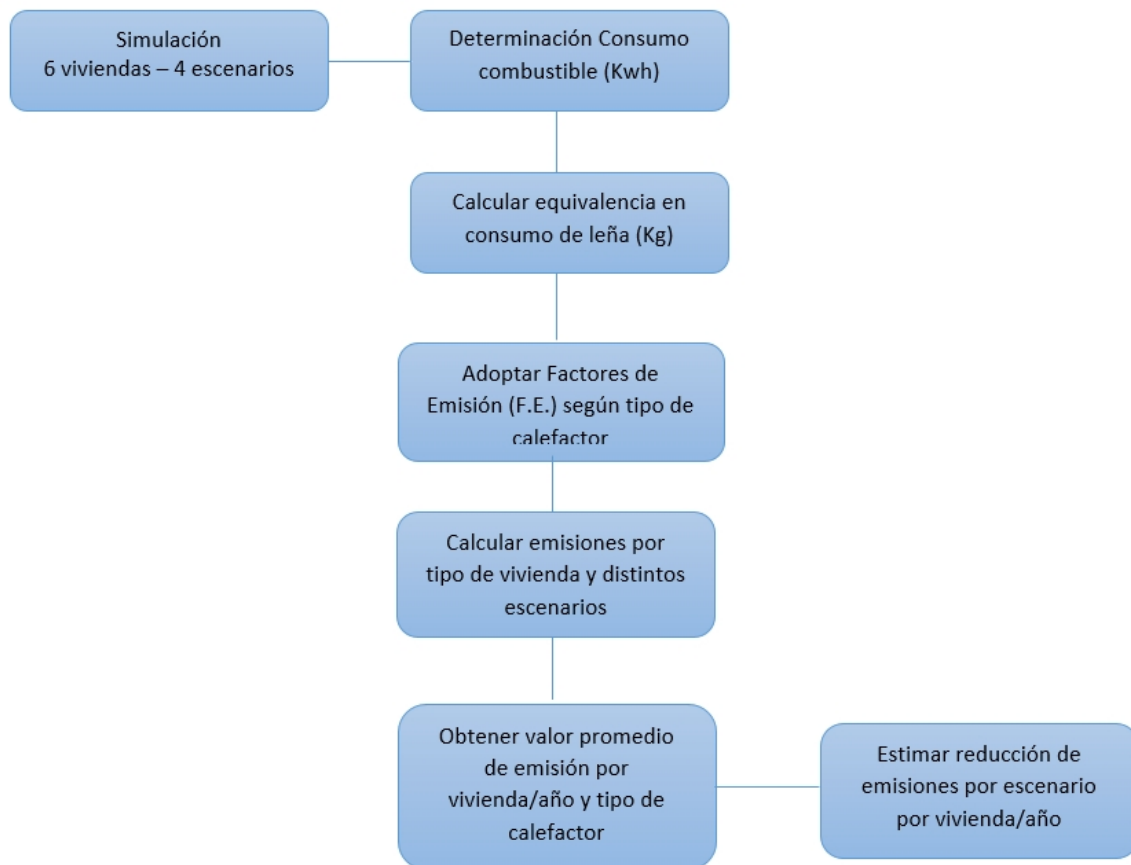
(Fuente: Elaboración propia).

Análisis de casos.

El análisis realizado busca determinar la incidencia de las medidas de reacondicionamiento térmico efectuadas a las viviendas determinando el consumo en calefacción por medio de la herramienta computacional Design

Builder que usa como motor de cálculo Energy Plus en 4 escenarios distintos. La estimación de la incidencia del reacondicionamiento térmico en la aplicación de los distintos escenarios, responderá al siguiente flujo:

Figura N°5: Diagrama de flujo para determinación de reducción de emisiones



(Fuente: Elaboración propia).

Definición de Escenarios de análisis.

El primer escenario corresponde a la vivienda sin acondicionar, es decir sin aislación térmica, denominado escenario 1 (ESC1). Este tipo de viviendas corresponden a la gran mayoría de las viviendas existentes de ambas comunas y que fueron construidas antes del año 2000 cuando aún no existía reglamentación térmica. El segundo escenario corresponde a la determinación del consumo de calefacción referido a las viviendas que son acondicionadas bajo los parámetros que establece el artículo 4.1.10 de la O.G.U.C. vigente desde el año 2007, denominado escenario 2 (ESC2) y un tercer escenario que evalúa el consumo de energía por concepto de calefacción para las condiciones que establece en materia de reacondicionamiento térmico de manera específica el Plan de Descontaminación Ambiental en las comunas de Chillán y Chillán Viejo, denominado escenario 3 (ESC3).

De acuerdo a los resultados de estos tres escenarios, se analizan distintas estrategias de mejoramiento energético y ambiental, entre las cuales resulta altamente rentable y eficaz la disminución del coeficiente de transmitancia térmica en 0.1 puntos respecto de lo indicado en el P.D.A en el complejo de muros (lo cual se puede lograr a través de un aumento de espesor de material aislante térmico o mejorar su densidad) y aumentar los niveles de hermeticidad de 8 a 6.1 ach (Valor propuesto como clase de infiltración

de aire a 50 Pa para la comuna de Chillán por proyecto Fondef D1010 1025). Esta estrategia obedece a recoger desde una visión objetiva y posible los principios que fundamentan el estándar Passivhaus, dado que este permite limitar el uso energético reduciendo de forma ostensible el nivel de emisiones de todo tipo de contaminantes. Se toman aquellos parámetros posibles de aplicar en el caso de viviendas existentes, de los cuales se recomiendan los siguientes:

- Alto estándar en el Aislamiento térmico de la envolvente.
- Eliminar puentes térmicos: garantizando la máxima continuidad de la envolvente.
- Alta calidad de ventanas y puertas.
- Ventilación controlada: Ventilación mecánica con recuperador de calor ya que proporciona una mayor calidad del aire interior puesto que provee de una ventilación constate.
- Alta hermeticidad al paso del aire: Para eliminar las pérdidas por concepto de infiltración, puesto que estas constituyen perdidas energéticas no deseadas y no controladas que provocan flujos de aire caliente hacia el exterior en época de invierno y hacia el interior en verano.

La definición de los valores utilizados se detalla en las siguientes tablas:

Tabla N° 6: Valores de transmitancia térmica de acuerdo a los distintos escenarios normativos.

ELEMENTO	ESCENARIO N°1 Sin aislación Térmica U [W/(m ² °C)]	ESCENARIO N°2 Estándar O.G.U.C. U [W/(m ² °C)]	ESCENARIO N°3 Estándar P.D.A.	
			U [W/(m ² °C)]	Clase de infiltración de aire a 50 Pa
TECHUMBRE	2,23	0,38	0,38	8
MUROS	2,64	1,17	0,45	
VENTANAS	5,9	5,9	5,9	
PUERTAS	2,57	2,57	2,57	

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla N° 7: Escenario propuesto

ELEMENTO	ESCENARIO N°4 Estándar propuesto U [W/(m ² °C)]	CLASE DE INFILTRACIÓN DE AIRE a 50 Pa
TECHUMBRE	0,38	6.1
MUROS	0,35	
VENTANAS PVC	3.43	
PUERTAS	0.82	

(Fuente: Elaboración propia.)

Tabla N° 8: Definición de escenarios análisis de casos.

DEFINICIÓN DE ESCENARIOS DE ANÁLISIS DE CASOS	
Escenario 1 (ESC1)	Condición base existente, sin aislación térmica.
Escenario 2 (ESC2)	Parámetro 4.1.10 O.G.U.C.
Escenario 3 (ESC3)	Parámetros P.D.A
Escenario 4 (ESC4)	Estrategias propuestas.

(Fuente: Elaboración propia).

Mediante los valores de consumo de calefacción, resultado de las simulaciones efectuadas, expresado en energía consumida, es posible transformarlo a valores de combustible consumido que en este caso corresponde a kilos de leña por vivienda. De esta forma, el factor de conversión que relaciona la energía efectiva que es capaz de generar 1 kg de leña es de 0,766 kWh/kg, este valor varía notablemente en función del tipo y procedencia de la misma, pero para este caso se define un valor un promedio.

Posterior a esto y por medio de la aplicación de los respectivos factores de emisión (F.E.) que corresponden a valores típicos de proporciones de emisión dependiendo del tipo de estufa y su tecnología así como también la forma de operarla y que básicamente responde a si la leña usada es adecuada como la leña seca o húmeda, lo cual se encuentra

determinado a partir de la siguiente formula:

$$E = FE \times NA$$

Donde:

E :Emisiones del contaminante en estudio (gr/año).

FE : Factor de emisión del contaminante en estudio, en función del nivel de actividad que caracteriza a la fuente (gr/kg leña).

NA : Nivel de actividad. Corresponde al consumo promedio de leña (Kg/año).

Para el caso de factores de emisión (FE), se usarán aquellos obtenidos del inventario de emisiones y contaminantes, desarrollado el año 2015 para el Gran Concepción, realizando una simplificación al usar solo 3 tipos de calefactores y con la operación de uso de leña seca y leña seca y húmeda, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla N° 9: Factor de emisión de MP10.

TIPO DE ARTEFACTO	USO DE LEÑA SECA gr MP10/Kg neto de leña	USO DE LEÑA SECA Y HÚMEDA gr MP10/Kg neto de leña
Combustión lenta sin templador	6.2	45.8
Combustión lenta con templador	5.2	29.5
Calefactor a combustión lenta certificado	2.5	11

(Fuente: Actualización del inventario de emisiones atmosféricas y modelación de contaminantes de Concepción Metropolitano, año base 2013).

Una vez obtenido los valores de emisión de MP10, de cada vivienda objeto de esta investigación y teniendo en cuenta que el P.D.A propone ejecutar en 10 años un total de 20.000 subsidios para acondicionamiento térmico de viviendas, se determinará la emisión que generaría esa cantidad de viviendas para los distintos escenarios de acondicionamiento y de acuerdo al tipo de estufa y su condición de operación. De acuerdo a esta información se podrá determinar si la medida del reacondicionamiento térmico resulta ser eficaz para lograr disminuir el consumo de energía por concepto de calefacción a leña.

Cabe indicar que el 93.1% de MP10 corresponde a MP 2.5

Condiciones de borde e iniciales de simulación.

Las simulaciones efectuadas de los casos de estudio consideran los

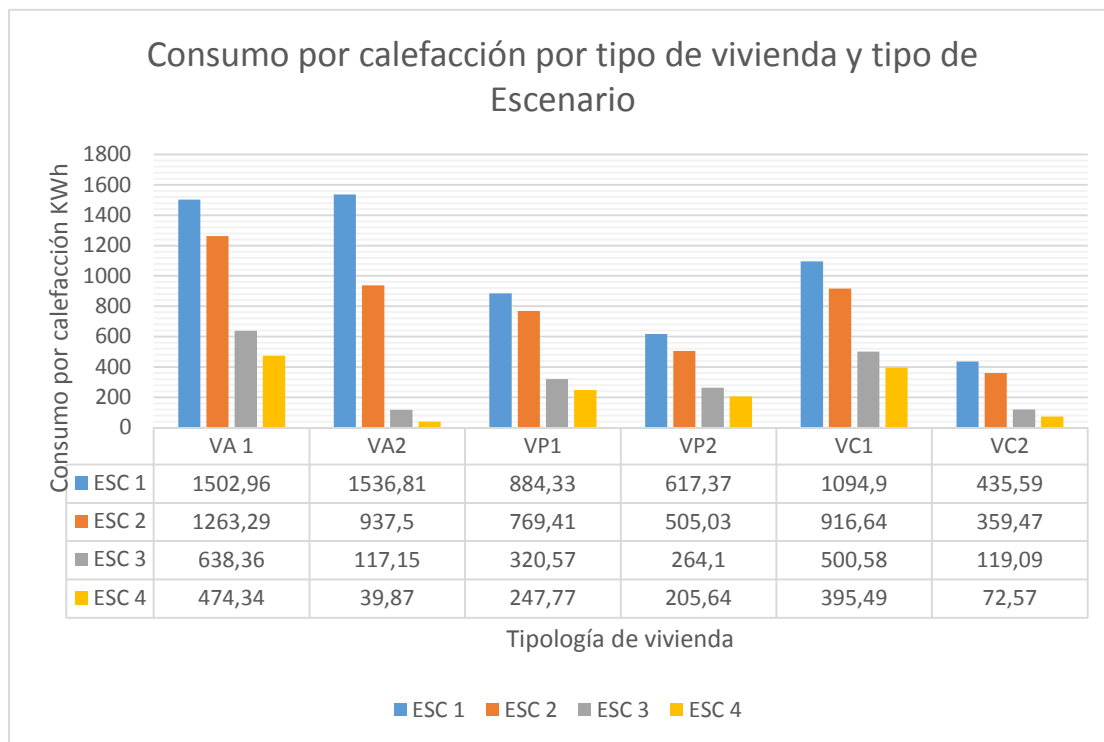
mismos escenarios y usos para los distintos recintos típicos de uso residencial y especialmente en la zona de Chillán, esto es 2 a 3 dormitorios, 1 a 2 baños, cocina y living-comedor. Para dimensionar efectivamente el consumo en calefacción específicamente como combustible leña, se especificó para el recinto living comedor la existencia de una estufa a leña con una operación de 7 horas diarias.

Resultados

A continuación se presentan los resultados de las distintas simulaciones efectuadas.

La figura N°5 muestra el consumo anual por concepto de calefacción a leña, para los distintos tipos de viviendas así como los distintos escenarios planteados, en KWh. Valores obtenidos del proceso de simulación mediante software Design Builder.

Figura N°6: Gráfico de consumo de calefacción por tipo de vivienda y tipo de Escenario.



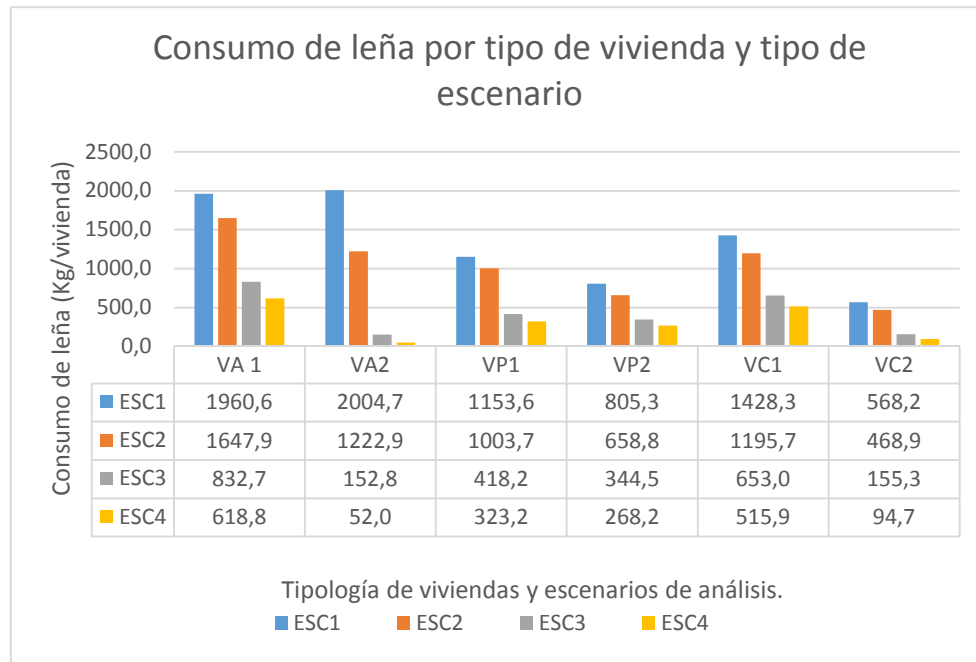
(Fuente: Elaboración propia).

De esta información se puede inferir que las viviendas existentes en su situación original, sin aislación térmica (Esc 1) que mayor consumo de energía anual presenta por concepto de calefacción son las viviendas tipo aisladas, por sobre el resto de los sistemas de agrupamiento. Esto se relaciona con el hecho de que estas viviendas poseen mayor superficie de envolvente expuesta al exterior.

Por otra parte el consumo anual de energía por concepto de calefacción se ve directamente relacionado con la cantidad de superficie de la vivienda, es decir que a mayor superficie

construida, mayor es su consumo. De acuerdo a esta información se puede determinar que el consumo de energía por concepto de calefacción en una vivienda existente sin aislación térmica, se encuentra relacionado directamente a la cantidad de metros cuadrados de su envolvente perimetral expuesta al exterior.

Figura N°7: Gráfico de consumo anual de leña por tipo de vivienda y tipo de Escenario.



(Fuente: Elaboración propia).

1 kg leña = 0,766 kWh/kg

1 Astilla = 1Kg. Aprox.

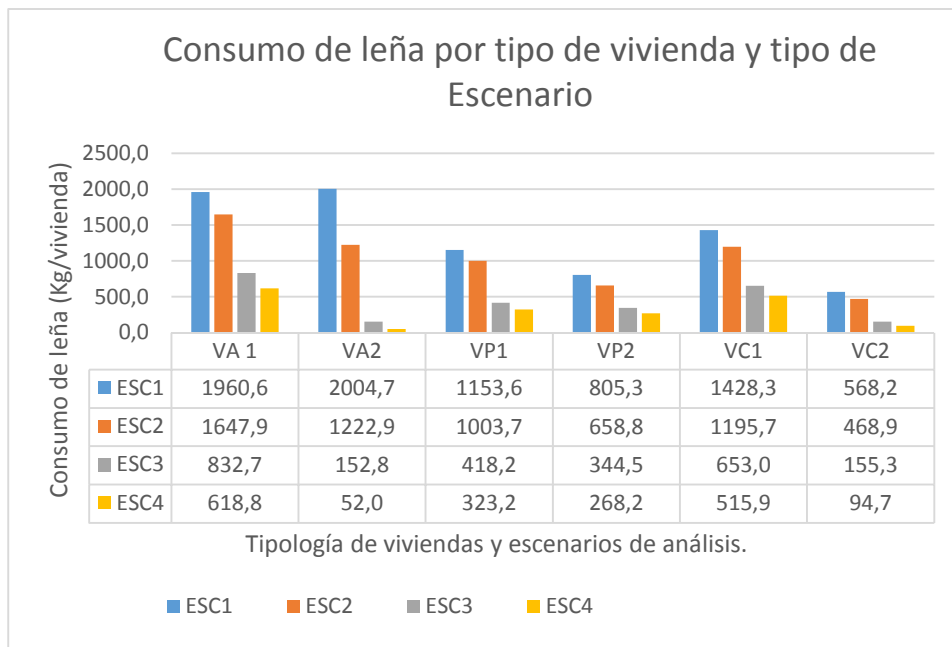
En relación a los resultados obtenidos, bajo el escenario 4 propuesto (ESC 4) con la alternativa de mejora en el coeficiente de transmitancia térmica de muros (de 0.45 W/m²K a 0.35 W/m²K) y el aumento en el nivel de hermeticidad (de 8 ach n50 a 6.1 ach n50), la vivienda que menos combustible llega a consumir es la vivienda aislada de dos pisos. Este resultado se encuentra determinado por la mayor cantidad de superficie de envolvente de dos parámetros cuya incidencia es mayor: la cubierta y muros, en cuyo caso se puede determinar que es necesaria la evaluación morfológica de la vivienda, dado a partir de la determinación de los parámetros de la envolvente que mayor superficie

presentan, con el objeto de aplicar un estándar diferenciado en relación a la transmitancia térmica y/o resistencia térmica del elemento más incidente dentro de la totalidad de la vivienda. Cabe indicar que la evaluación técnica que se realiza a las viviendas que postulan al programa de reacondicionamiento térmico es realizada bajo parámetros “tipo”, lo cual no considera factores tales como: porcentajes de incidencia por parámetro de envolvente, orientación, ganancias solares, etc. Se puede inferir que a las condiciones requeridas por el P.D.A aún queda espacio para mejorar aún más el estándar de los valores de transmitancia térmica, para la envolvente.

La siguiente gráfica, muestra la cantidad de leña consumida

anualmente por tipo de vivienda y tipo de escenario:

Figura N°8: Gráfico de consumo anual de leña por tipo de vivienda y acondicionamiento térmico.



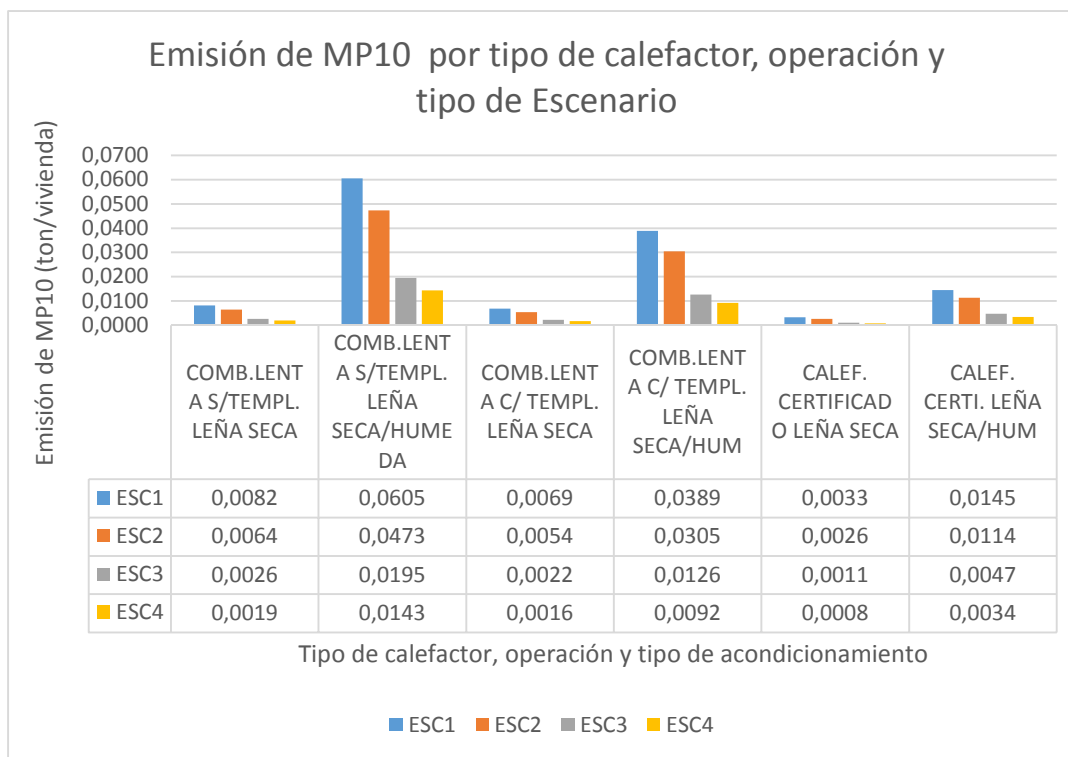
(Fuente: Elaboración propia.)

De acuerdo a la gráfica anterior se puede inferir que a mayor superficie de una vivienda mayor es su consumo de leña. Tal es el caso de las viviendas tipo aisladas de 84.93m² (VA2) y 64m² (VA1). Aplicada la estrategia de mejora establecida como ESC4, la tipología de viviendas sobre la cual la medida del reacondicionamiento térmico tiene mayor impacto sobre la reducción del consumo de leña es sobre la tipología VA2.

Para determinar un valor único y representativo de la emisión de MP10 por unidad de vivienda de las comunas de Chillán y Chillán Viejo se han promediando las distintas emisiones por cada tipología de

viviendas con la finalidad de obtener un valor único y representativo de emisión de MP10 por unidad de vivienda para cada escenario propuesto. Esto obedece a que los factores de emisión se encuentran determinados por el tipo de calefactor y su forma de operación, de acuerdo a los factores de emisión de la Tabla N°9.

Figura N°9: Gráfico de emisión de MP10 por tipo de calefactor, forma de operación y tipo de Escenario.



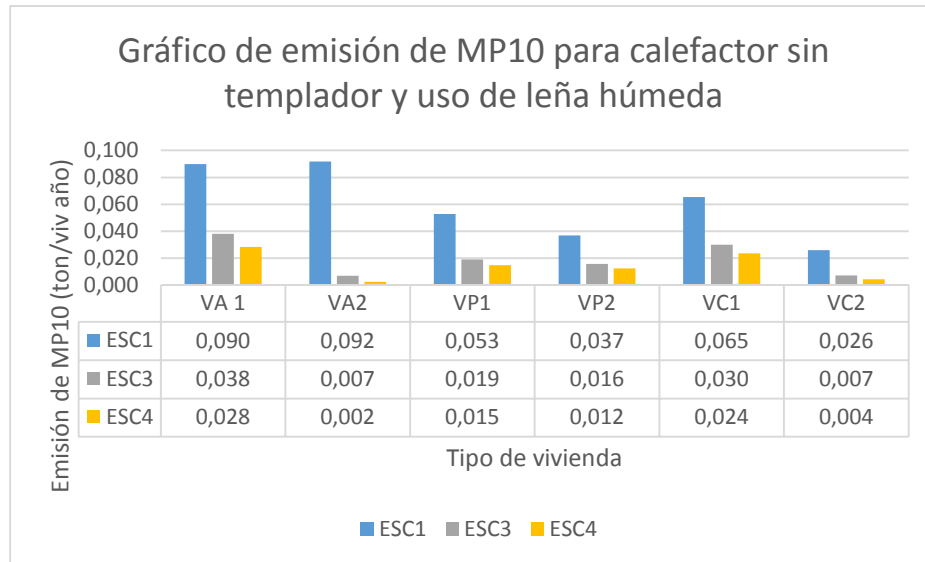
(Fuente: Elaboración propia).

De esta gráfica, se desprende que la operación del calefactor, referido a si se utiliza leña seca o húmeda, tiene una incidencia importante en materia de emisión de material particulado independiente de la tecnología del calefactor.

Por otro lado, al analizar un mismo calefactor y condición de operación

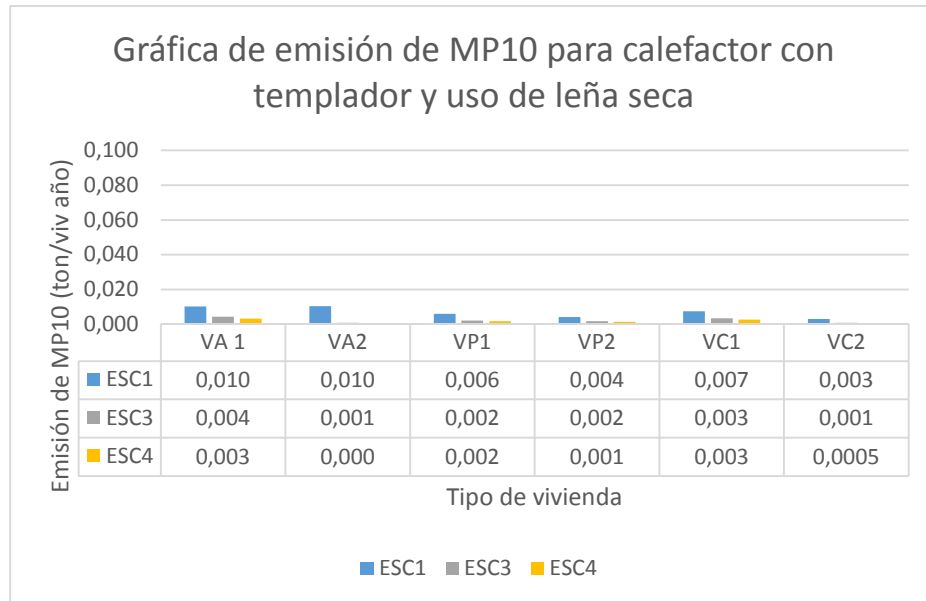
en los distintos escenarios, se puede apreciar el importante efecto que tiene la aplicación de las medidas de acondicionamiento térmico en el marco del P.D.A así como el escenario propuesto como estrategia.

Figura N°10: Gráfico de emisión de MP10 para calefactor sin templador y uso de leña húmeda.



(Fuente: Elaboración propia).

Figura N°11: Gráfico de emisión de MP10 para calefactor con templador y uso de leña seca.

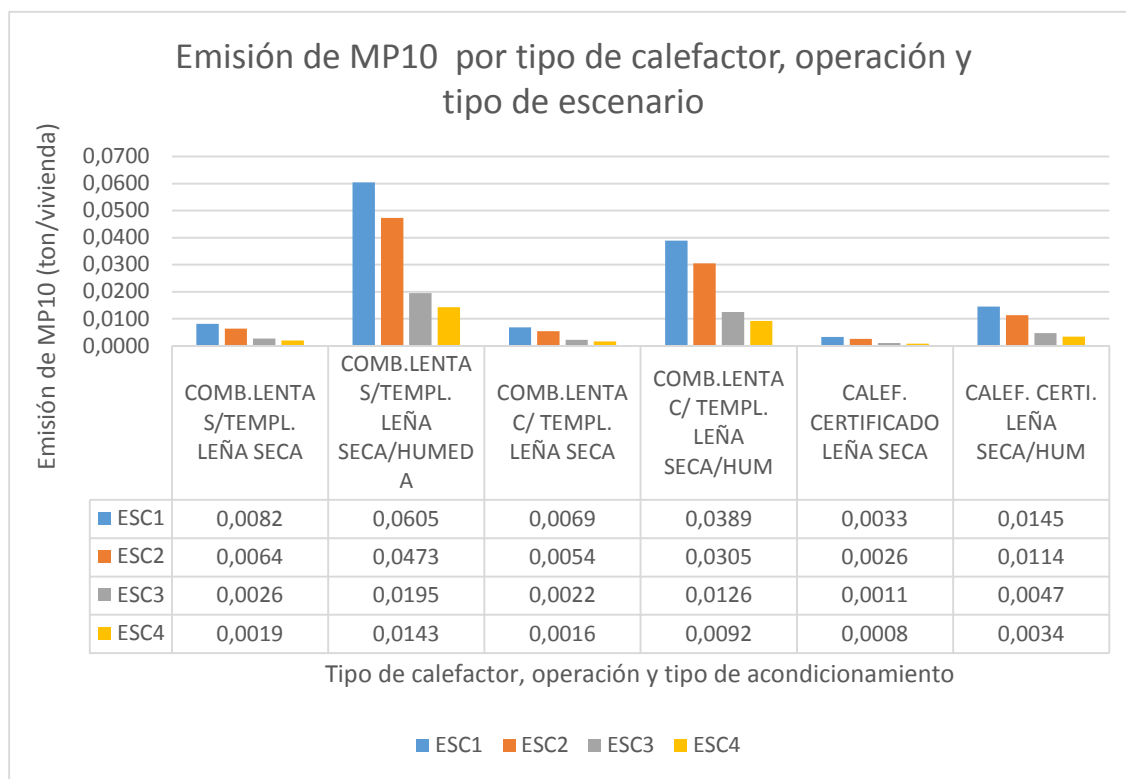


(Fuente: Elaboración propia).

Las estrategias del reacondicionamiento térmico necesariamente deben estar integradas al recambio de artefacto

de calefacción por uno de alta eficiencia o tipo de tecnología asociada a dejar de emitir material particulado.

Figura N°12: Gráfico de emisión de MP10 para calefactor forma de operación y tipo de escenario.



(Fuente: Elaboración propia).

Se puede apreciar que en el caso de una vivienda acondicionada en ESC 4 emite más MP10 cuando usa una estufa a combustión lenta sin templador que la misma vivienda sin acondicionar (ESC1) usando una estufa combustión lenta operada con leña seca.

Por otro lado, al analizar un mismo calefactor y condición de operación en los distintos escenarios, se puede apreciar el importante efecto que tiene la aplicación de las medidas de acondicionamiento térmico en el marco del P.D.A así como el

escenario propuesto como estrategia.

De acuerdo a la meta establecida por el P.D.A Chillán y Chillán Viejo, se tiene que en los próximos 10 años se debieran asignar y ejecutar un total de 20.000 subsidios de acondicionamiento térmico, por lo que para estimar cuantitativamente el eventual efecto del programa en la cantidad de material particulado emitido, se comparará la emisión de 20.000 viviendas en el escenario sin aislación y los escenarios mejorados tanto con P.D.A como en la propuesta denominada Escenario 4 ESC4

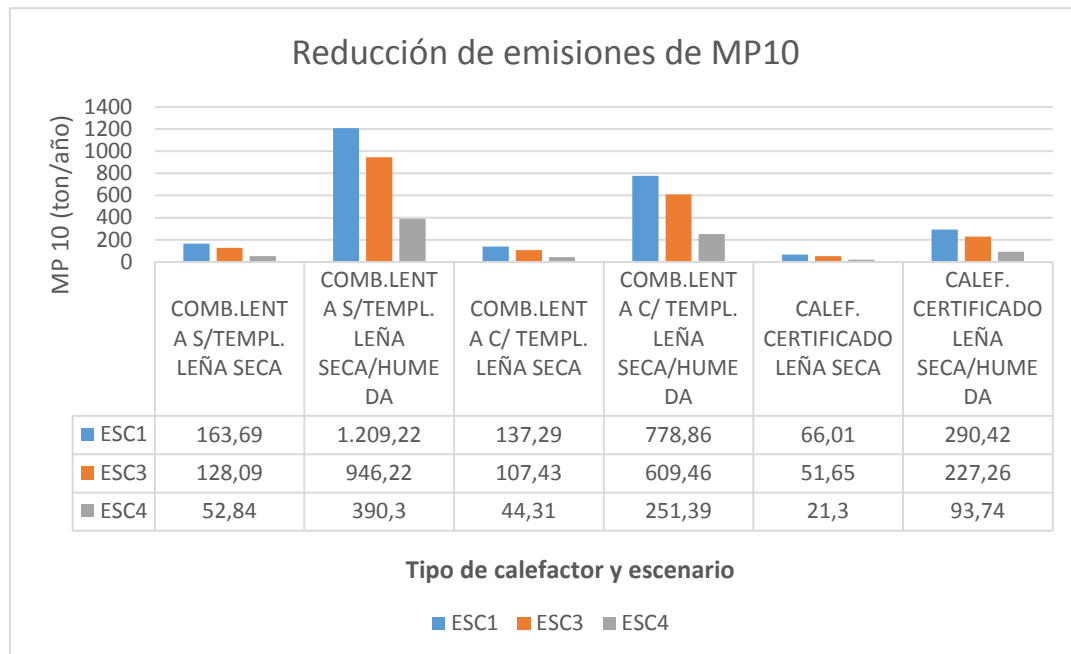
Tabla N° 10: Valores de MP10 en ton/año, para 20.000 subsidios.

TIPO DE CALEFACTOR	ESC1 MP 10 (ton/año)	ESC3 MP 10 (ton/año)	ESC4 MP 10 (ton/año)	Reducción de emisiones ESC 3 v/s ESC1 (ton/año)	Reducción de emisiones ESC 4 v/s ESC1 (ton/año)
COMB.LENTA SIN TEMPLADOR /LEÑA SECA	163,69	128,09	52,84	35,6	110,85
COMB.LENTA SIN TEMPLADOR /LEÑA SECA-HUMEDA	1.209,22	946,22	390,30	263	818,92
COMB.LENTA CON TEMPLADOR LEÑA SECA	137,29	107,43	44,31	29,86	92,98
COMB.LENTA CON TEMPLADOR /LEÑA SECA-HUMEDA	778,86	609,46	251,39	169,4	527,47
CALEFACTOR CERTIFICADO LEÑA SECA	66,01	51,65	21,30	14,36	44,71
CALEF. CERTIFICADO LEÑA SECA-HUMEDA	290,42	227,26	93,74	63,16	196,68

(Fuente: Elaboración propia).

La tabla anterior, se representa en la siguiente gráfica:

Figura N°13. Gráfico de reducción de emisiones de MP10 por tipo de calefactor, forma de operación y tipo de Escenario.

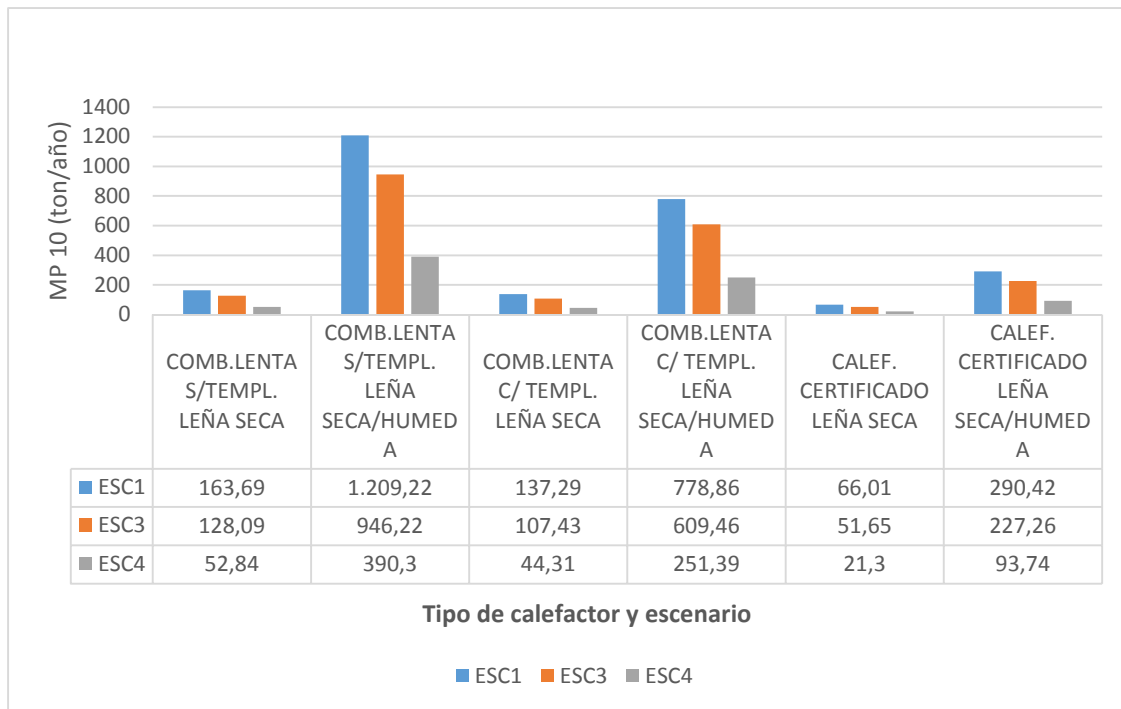


(Fuente: Elaboración propia).

Finalmente, es posible determinar qué alternativa tiene mayor incidencia en la disminución de las emisiones de material particulado, considerando el valor del inventario

total de emisiones indicado en el P.D.A y que asciende a 4696 ton/año exclusivamente del sector residencial, lo que se refleja en la siguiente gráfica:

Figura N°14: Reducción de emisiones de MP10 por tipo de calefactor, forma de operación y tipo de Escenario.



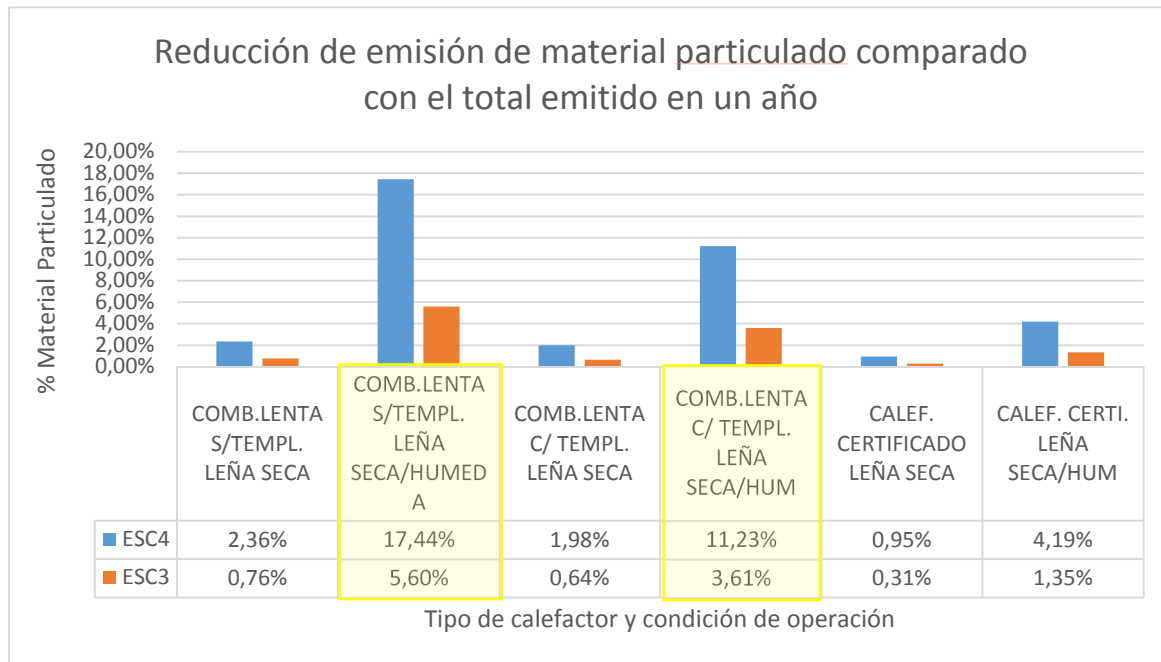
(Fuente: Elaboración propia).

Emisión de MP estufa eléctrica = 0

Cabe mencionar que las 20.000 viviendas corresponden a 1/3 del total de viviendas existentes con uso de

leña de las comunas de Chillan y Chillan Viejo.

Figura N°15: Gráfico porcentaje de reducción de MP10 comparado con el total emitido en un año.



(Fuente: Elaboración propia).

Para analizar el gráfico anterior, se debe considerar la comparación efectuada en los distintos escenarios, así como el tipo de calefactor y la condición de operación, teniendo en cuenta además que para las comunas de Chillán y Chillán, se presenta mayoritariamente la combinación de calefactor a combustión lenta con templador y uso de leña seca y además del uso con leña seca y húmeda. Lo que implicaría que para la zona en estudio, la incidencia del P.D.A más probable al aplicar la totalidad de 20.000 subsidios en materia de reacondicionamiento térmico sería entre un 3.61% y 5.60% si el subsidio es aplicado en aquellas viviendas que usan un calefactor a combustión lenta sin templador y un calefactor con

templador ambos operados con leña seca/húmeda.

La propuesta de mejoramiento o ESC4 incidiría para las mismas condiciones de operación entre un 17,44% y un 11,23%. Si el mejoramiento se realiza en un hogar con presencia de estufa eléctrica o sin sistema de calefacción, este subsidio presenta 0% de incidencia para efectos de PDA.

Conclusiones

Las medidas de acondicionamiento térmico para viviendas contenidas en el Plan de Descontaminación Ambiental P.D.A. de las comunas de Chillán y Chillán Viejo, repercuten de manera positiva en la mejora de la calidad térmica de la envolvente, otorgando un mayor grado de confort interior para los usuarios lo cual además se podría traducir en ahorro por concepto de requerimiento energético, dependiendo básicamente del tipo de artefacto existente y estado de utilización del combustible leña. Además se ve disminuida la cantidad de horas de operación de los artefactos posibilitando la reducción en el nivel de emisiones de material particulado liberado a la atmósfera.

Los beneficios ambientales son mayores mientras mayor es la reducción en el consumo de energía por concepto de calefacción. En las viviendas objeto de estudio, sin considerar la vivienda aislada de dos pisos, este ahorro se traduce en un 52% al 72% según tipología de agrupamiento, tomando como referencia la vivienda base sin aislación térmica que es el gran número que compone el parque residencial existente. En este análisis en particular no se considera la vivienda VA2 (vivienda aislada de dos pisos) por demostrar ser una caso singular. Esta configuración y de acuerdo a las estrategias planteadas en escenario propuesto ESC4, permite inferir que no es apropiado realizar estrategias de evaluación e intervención "tipo" para la diversidad tipológica de viviendas existentes, sino

que se recomienda analizar la integración necesaria de factores particulares de cada unidad habitacional. Se concluye que de ninguna forma se deben considerar soluciones o estrategias aisladas para la reducción de emisiones por concepto de calefacción. Los proyectos deben ser abordados de manera integral, asociando factores claves tales como: Tipo y superficie incidente por paramento de la envolvente, tipo y uso de calefactor, tipo de combustible utilizado, morfología y uso de cada vivienda, lo cual permitirá realizar proyectos eficientes y eficaces.

A la fecha todos los proyectos de reacondicionamiento térmico realizados bajo los parámetros normativos analizados (estándar O.G.U.C. y estándar P.D.A.), se han desarrollado bajo pautas prescriptivas y estandarizadas referidas al cumplimiento de transmitancia térmica y/o resistencia térmica de los distintos parámetros de la envolvente, además de medidas referidas a incluir criterios de hermeticidad de la envolvente y sistema de ventilación en su última etapa de implementación, lo cual ha sido un modelo de intervención repetitivo y de igual implicancia para la diversidad de tipologías de viviendas del parque existente, en donde no han primado criterios de intervención energéticos-ambientales referidos a disminuir el nivel de emisiones capaz de aportar cada una de estas viviendas.

En este sentido, es recomendable potenciar la investigación para analizar de qué forma se reducen de manera más eficiente las fuentes emisoras, que en el caso de Chillán y Chillán Viejo corresponden a estufas y cocinas domiciliarias a leña.

Se recomienda explorar técnicas de bajo costo posibles de aplicar al parque de viviendas existentes de ambas comunas, tales como incorporación de sistemas de energías renovables ERNC, a través de la instalación de colectores solares térmicos, paneles fotovoltaicos o energía geotérmica que sean capaces de compensar la energía requerida para calefaccionar los hogares.

Dependiendo de las condiciones de operación del calefactor presente en la vivienda, se estima que por concepto de la medida de reacondicionamiento térmico de viviendas existentes, la incidencia más probable en la baja de las emisiones de material particulado MP10 varía entre el 3.61% y el 5.60%, al cabo del cumplimiento de la meta de ejecución de los 20.000 subsidios de acondicionamiento que contempla el PDA.

Para porcentajes de incidencia mayores, se propone explorar estrategias complementarias a las dispuestas en el P.D.A, como lo es el escenario propuesto denominado como ESC4 que tiene una incidencia adicional, ya que se puede obtener desde un 20% adicional de ahorro de energía, lo que repercute en ahorro de combustible y por lo tanto en reducción de emisiones, siendo una

medida con costos acotados ya que básicamente se trataría de aumentar en espesor o densidad del material aislante propuesto y la disposición de mayor cantidad de sellos en revestimientos, encuentros, conductos, gateras, puertas, ventanas, etc.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las simulaciones efectuadas a las distintas tipologías de viviendas, de los cuales se comprueba que una vivienda de mayor superficie aporta un mayor índice de material particulado a la atmosfera al tener mayores consumos, la estrategia de aplicación de estas medidas debieran centrarse en mejorar en forma integral la envolvente y sistema de calefacción de viviendas de mayor tamaño y que posean un tipo de calefacción deficiente, puesto que se logra visualizar que las viviendas de menor tamaño no necesariamente son las que emiten una mayor cantidad de contaminantes y su intervención tendría resultados acotados respecto de las metas impuestas en la reducción de emisiones.

La entrega de este subsidio debiese implicar obligatoriamente un análisis previo del comportamiento energético- ambiental referido a la morfología de la vivienda, uso, cantidad y calidad de los artefactos de calefacción existentes de cada vivienda objeto de subsidio, para evaluar la pertinencia y prioridad de intervención dentro del universo del parque de viviendas existentes de ambas comunas.

Referencias

Chile. Ministerio del Medio Ambiente. (14 de marzo de 2016). Decreto que establece Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para las comunas de Chillán y Chillán Viejo. [Decreto Supremo N°48]. Recuperado de <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2014/08/14-PDA-Chillan-y-Chillan-Viejo-DS-48-del-2016-MMA-02.pdf>

Chile. Ministerio del Medio Ambiente. (Diciembre 2015). Actualización del inventario de emisiones atmosféricas y modelación de contaminantes de Concepción Metropolitano, año base 2013.

Chile. Ministerio de Energía .Balance Nacional de Energía. 2014.

Chile. Ministerio de Energía. Política Energética de Chile. Energía 2050.

Chile. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (19 de Mayo de 1992). Decreto que fija nuevo texto de la ordenanza general de la Ley General de Urbanismo y Construcciones [Decreto Supremo N°47]. Recuperado de http://www.minvu.cl/opensite_20070404173759.aspx

Chile. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2006). Manual de Aplicación Reglamentación Térmica. Santiago, Chile: Autor.

Chile. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2007). Decreto Supremo N°255. Programa de Protección del Patrimonio Familiar.

CITEC UBB, DECON UC. (2014). Manual de hermeticidad al aire de edificaciones. Concepción, Chile: Ediciones Universidad del Bío-Bío.

D'Alençon, R. (2008). Acondicionamientos arquitectura y técnica. Santiago, Chile: Ediciones ARQ.

Fondef D101 1025. Límites de hermeticidad al aire en edificaciones por provincia.

Romero N. (2011). Consumo de energía a nivel residencial en Chile y análisis de eficiencia energética en calefacción. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, U. Chile.

Seremi Del Medio Ambiente Región Del Biobío Gobierno De Chile, Diciembre de 2015. "Actualización del inventario de emisiones atmosféricas y modelación de contaminantes de Concepción Metropolitano, año base 2013"

Seremi Ministerio de Vivienda y Urbanismo región del Bio Bio. Oficio Ord.N°2308 del 12 de Septiembre 2016. Informa sobre número de familias beneficiadas, Programa de Protección del Patrimonio Familiar, Título II, comuna de Chillán.

Smith Kirk R. (2006) El uso doméstico de leña en los países en desarrollo y sus repercusiones en la salud.

Recuperado de:

<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0789s/a0789s09.pdf>