



# EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR, CONFORT AMBIENTAL Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DENTRO DE LAS VIVIENDAS BENEFICIADAS DEL RECAMBIO EN LA REGIÓN DE AYSÉN

Estudio solicitado por la Subsecretaría del Medio Ambiente Región de Aysén

**Informe Final Observado** 

Fecha: 18 de diciembre de 2015

### **Tabla de Contenidos**

1.	RESUME	N EJECUTIVO	8
2.	OBJETIV	os	10
	2.2 OBJ 2.2.1 ambient 2.2.2	ETIVO GENERAL  ETIVOS ESPECÍFICOS  Medir a nivel intradomiciliario el Monóxido de Carbono (CO), Humedad (Hw), Temper re (T) y Material Particulado (MP)  Medir el consumo de leña de los artefactos antes y después del recambio  MENTOS ADICIONALES: ANÁLISIS DE IMPACTO A LA SALUD DE LA POBLACIÓN POR RECAMBIO DE CALEFACTORES	10 raturo 10
3.	PLAN DE	INTERVENCIÓN	12
	3.2 DEF 3.2.1 3.2.2 3.2.3 3.2.4 3.2.5 3.2.6 3.3 INS 3.3.1 3.3.2 3.3.3 3.3.1 3.3.2	NTACTO CON VIVIENDAS  FINICIÓN DE VARIABLES A MEDIR.  Temperatura y Humedad relativa  Monóxido de Carbono  Consumo de leña  Imágenes térmicas  Material Particulado  Condiciones ambientales externas  TRUMENTOS DE MEDICIÓN  Analizador de Monóxido de Carbono EL-USB-CO (CO) Data Logger  Sensores de Temperatura y humedad iButtons  Cámara Termográfica DALI  Monitor de MP 2,5 Dylos DC1700  Estaciones de monitoreo ambiental	12 13 14 14 14 14 14 15 16
	3.4.1 3.4.2 3.4.3 3.4.4 3.4.5 3.5 Rec 3.6 Add	Medición de consumo y humedad de la leña  Medición de Monóxido de Carbono  Medición de Temperatura ambiental y humedad relativa  Caracterización mediante Imagen térmica	18 19 19 20
4.	4.1 LIST 4.2 CRI <sup>*</sup> 4.3 UBI	ÓN DE LAS VIVIENDAS  TADO DE VIVIENDAS POTENCIALES  TERIO DE SELECCIÓN  CACIÓN DE LAS VIVIENDAS SELECCIONADAS  TALACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN  Vivienda N°1  Vivienda N°2  Vivienda N°3	26 26 26 27
5.	CARACT	ERIZACIÓN TÉRMICA	31
	5.1 VIV 5.1.1 5.1.2 5.1.3 5.1.4	IENDA N° 1  Descripción general  Características constructivas de la Vivienda  Imágenes térmicas  Hábitos de uso	31 33

	5.2 VIVIE	NDA N° 2	
	5.2.1	Descripción general	
	5.2.2	Características constructivas de la Vivienda	4
	5.2.3	Imágenes térmicas	4
	5.2.4	Hábitos de uso.	52
	5.3 VIVIE	NDA N°3	
	5.3.1	Descripción general	5
	5.3.2	Características constructivas de la Vivienda	5
	5.3.3	Imágenes térmicas	5
	5.3.4	Hábitos de uso.	6
6.	RESULTA	DOS Y ANÁLISIS DE DATOS	60
	6.1 TEMI	PERATURA Y HUMEDAD	6
	6.2 CONI	FORT TÉRMICO	70
	6.3 EFICI	Encia de Calefacción	73
	6.4 Con	TAMINANTES INTRADOMICILIARIOS	7
	6.4.1	Monóxido de Carbono	7
	6.4.2	Material Particulado	7
7.	ΕVΑΙΙΙΛΟ	CIÓN ECONÓMICA: AHORRO EN CONSUMO DE LEÑA	79
٠.			
		SUMO DE LEÑA Y DIFERENCIA DE TEMPERATURA EN CADA VIVIENDA PARA CADA PERIODO DE MEDICIÓN	
	7.2 RELA	CIÓN ENTRE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA INTERNA Y EXTERNA	
	7.2.1	Modelo estadístico lineal para consumo de leña	
		ección del consumo de leña para una situación con el calefactor antiguo y para la situación	
		UEVO	
	7.3.1	Ahorro de leña	
	7.4 VALC	DR ACTUAL NETO DEL AHORRO DE LEÑA	8
8.	EVALUAC	CIÓN IMPACTOS EN SALUD	90
	8.1 IDEN	TIFICACIÓN DE LAS RELACIONES ENTRE LAS VARIABLES DE INTERÉS	9
	8.1.1	Temperatura Interior y Exterior	9
	8.1.1	Relación entre la concentración intramuros y el aumento de temperatura interior	
	8.2 ESTIN	MACIÓN DE LA REDUCCIÓN DE EXPOSICIÓN INTRAMUROS E IMPACTOS EN SALUD	
	8.2.1	Registro histórico anual de temperatura y de material particulado para Puerto Aysén	90
	8.3 Cond	CENTRACIÓN INTERIOR CON Y SIN CAMBIO DE CALEFACTOR	9
	8.4 REDU	JCCIÓN EN EXPOSICIÓN INTRAMUROS	9
9.	DISCUSIĆ	N Y CONCLUSIONES	100
	9.1 GENE	FRALES	100
		ICTOS EN SALUD	
10		ACIÓN DE RESULTADOS A CONSEJO REGIONAL	
11	_		
12		RAFÍA	
13	. ANEXOS		107
		(O 1: CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPAR EN ESTUDIO	
		(O 2: FORMULARIO TIPOLÓGICO DE LA VIVIENDA E INFORMACIÓN DEL CALEFACTOR	
		(O 3: FORMULARIO DE REGISTRO DE CONSUMO DE LEÑA Y FORMULARIO DE REGISTRO DE HUMEDAD DE LEÑA EN 1	
		(O 4: ENCUESTA DE CONSUMO DE LEÑA Y SENSACIÓN TÉRMICA	
		(O 5: Planilla registro Macro	
	13.6 ANE	VO 6. CARTA DE COMPROMISO DE ENTREGA DE FOLIDOS	120

13.7	ANEXO 7: RESULTADOS ESTADÍSTICOS - EVALUACIÓN IMPACTOS EN SALUD	121
13.7.	1 Relación de Temperatura Interior y Exterior	122
13.7.	2 Relación entre Temperatura Interior y Exterior Casa 3	124
13.7.	3 Modelo Aditivo Generalizado (GAM)	126
13.7.	4 Modelo con Concentración Interior y Cambio de Temperatura	127
13.7.	5 Modelos GAM Con y Sin Interacción	129
13.7.	6 Temperatura Interior vs Exterior	130
13.7.	.7 Concentración Exterior vs Temperatura Exterior	131
13.7.	8 Concentración Interior vs Temperatura Exterior	134
13.7.	9 Aumento de T Interior vs T exterior	137
13.7.	.10 Modelo GAM para Concentración Interior	139

### Lista de Tablas

Tabla 1 Información General del Oferente	VI
Tabla 2 Principales Características del Analizador de CO	15
Tabla 3 Principales Características de los Sensores iButtons	16
Tabla 4 Características de la Cámara Termográfica	17
Tabla 5 Características Dylos DC1700	18
Tabla 6 Proveedores Potenciales de Leña Certificada	21
Tabla 7 Temperaturas promedio interiores y exteriores, exante y expost recambio	68
Tabla 8 Indicador de sensación térmica (Y) antes y después del recambio	72
Tabla 9 Consumo de leña, cantidad de días medidos y diferencia de temperatura acumulada	75
Tabla 10 Grados hora interiores y exteriores durante todo el período de medición	
Tabla 11 Promedio de CO dentro de las viviendas antes y después del recambio	77
Tabla 12 Consumo de leña por casa y Diferencia de temperatura interna-externa Exante y Expost	
Tabla 13 Consumo estimado de leña para una casa promedio, en situación original y con nuevo calefactor	
Tabla 14 Costos asociados a inversión inicial de recambio calefactor	
Tabla 15 Consumo y ahorro de laña anual	
Tabla 16 VAN de someterse al Programa de Recambio, escenarios de precio alto y bajo de leña	
Tabla 17 Promedios mensuales de las concentraciones intradomiciliarias	
Tabla 18 Reducción de exposición a PM <sub>2.5</sub> y reducción de riesgo de muerte prematuro, para diferentes ho	
permanencia intramuros	
Tabla 19 Cálculo indicativo del beneficio social del recambio de calefactor en una vivienda típica	99
Lista de Figuras  Figura 3-1 Analizador de CO Ambiental	15
Figura 3-2 Sensor iButton de Temperatura y humedad ambiental	
Figura 3-3 Cámara Termográfica Dali, modelo LT3	
Figura 3-4 Medidor de MP 2,5 Dylos	
Figura 3-5 Calefactor Nordic 380 marca AMESTI y Kit de instalación	
Figura 4-1 Fotos de algunas de las viviendas preseleccionadas en Coyhaique	
Figura 4-2 Fotos de algunas de las viviendas preseleccionadas en Puerto Aysén	
Figura 4-3 Sensores de T y Hw instalados al interior y exterior de la vivienda N° 1	27
Figura 4-4 Sensor de CO instalado al interior de la vivienda N° 1	27
Figura 4-5 Sensores de T y Hw instalados al interior de la vivienda N° 2	
Figura 4-6 Sensores de T y Hw instalados al interior y exterior de la vivienda N° 2	28
Figura 4-7 Sensor de CO instalado al interior de la vivienda N° 2	29
Figura 4-8 Sensores de T y Hw instalados al interior de la vivienda N° 3	
Figura 4-9 Sensores de T y Hw instalados al interior y exterior de la vivienda N° 3	
Figura 4-10 Sensor de CO instalado al interior y exterior de la vivienda N° 3	
Figura 5-1 Distribución general del exterior de la vivienda N°1	
Figura 5-2 Fotos del primer nivel de la vivienda. 1,2 y 3 muestran el living comedor, la foto 4 muestra la coc	
foto 5 las puertas y anexos al baño y la foto 6 el dormitorio N°1	
Figura 5-3 Dormitorio del segundo piso de la vivienda N°1	
Figura 5-4 Plano referencial de la distribución de la Vivienda N°1	
Figura 5-5 Frontis exterior de la vivienda N°1	
Figura 5-6 Imagen térmica de la parte superior del frontis de la vivienda	
Figura 5-7 Imagen térmica de la parte exterior del segundo piso de la vivienda	
Figura 5-8 Costado derecho de la vivienda N°1	
Figura 5-9 Imagen térmica de una cara lateral de la vivienda	36

Figura 5-10 Parte trasera de la vivienda N°1	37
Figura 5-11 Imagen térmica de parte superior de la cara posterior de la vivienda	37
Figura 5-12 Imagen térmica del siding de la cara posterior de la vivienda	38
Figura 5-13 Comedor de la vivienda N°1	
Figura 5-14 Imagen térmica de una zona del cielo y parte superior interior de la vivienda	39
Figura 5-15 Imagen térmica de parte del piso y parte inferior de la vivienda	40
Figura 5-16 Habitación segundo nivel de la vivienda N°1	41
Figura 5-17 Imagen térmica del cielo y parte superior del segundo piso de la vivienda	41
Figura 5-18 Imagen térmica de la superficie sobre la ventana del segundo piso de la vivienda	42
Figura 5-19 Distribución general del exterior de la vivienda N°2	43
Figura 5-20 Distribución interna de la vivienda N°2, living y cocina	44
Figura 5-21 Plano referencial de la distribución de la vivienda N°2	44
Figura 5-22 Frontis exterior de la vivienda N°2	45
Figura 5-23 Imagen térmica de la parte superior izquierda del frontis de la vivienda	46
Figura 5-24 Imagen térmica de la parte central superior del frontis de la vivienda	46
Figura 5-25 Costado derecho de la vivienda N°2	
Figura 5-26 Imagen térmica de una cara lateral exterior de la vivienda	
Figura 5-27 Imagen térmica de un puente térmico en una cara lateral de la vivienda	
Figura 5-28 Imagen térmica de la parte superior de una cara lateral de la vivienda	
Figura 5-29 Parte trasera de la vivienda N°2	
Figura 5-30 Imagen térmica de la parte superior trasera de la vivienda	
Figura 5-31 Imagen térmica de la cara posterior de la vivienda	
Figura 5-32 Living de la Vivienda N°2	
Figura 5-33 Imagen térmica del interior de la vivienda	
Figura 5-34 Imagen térmica del cielo y parte superior del interior de la vivienda	
Figura 5-35 Fachada y parte trasera de la vivienda N° 3	53
Figura 5-36 Fotos superiores muestran living y en las inferiores el pasillo de acceso a los dormitorios	
Figura 5-37 Plano referencial de la distribución de la vivienda N°3	
Figura 5-38 Frontis exterior de la vivienda N°3	
Figura 5-39 Imagen térmica de la parte superior derecha del frontis de la vivienda	
Figura 5-40 Imagen térmica de la parte inferior del frontis de la vivienda	
Figura 5-41 Imagen térmica de la parte central del frontis de la vivienda	
Figura 5-42 Costado derecho de la vivienda N° 3	
Figura 5-43 Imagen térmica del costado exterior derecho de la vivienda	
Figura 5-44 Imagen térmica de la zona inferior de la cara lateral de la vivienda	
Figura 5-45 Parte trasera de la vivienda N° 3	60
Figura 5-46 Imagen térmica de la parte trasera de la vivienda	
Figura 5-47 Imagen térmica de la parte superior trasera de la vivienda	
Figura 5-48 Living comedor de la vivienda N° 3	
Figura 5-49 Imagen térmica de la zona superior y cielo del interior de la vivienda	
Figura 5-50 Imagen térmica sobre una de las ventanas de la vivienda	
Figura 5-51 Dormitorios vivienda N°3	
Figura 5-52 Imagen térmica de la parte superior de uno de los dormitorios de la vivienda	
Figura 5-53 Imagen térmica sobre la ventana del dormitorio	
Figura 6-1 Temperatura interior y Temperatura exterior Vivienda 1, antes del recambio	
Figura 6-2 Temperatura interior y Temperatura exterior Vivienda 1, después del recambio	
Figura 6-3 Temperatura interior y Temperatura exterior Vivienda 2, antes del recambio	
Figura 6-4 Temperatura interior y Temperatura exterior Vivienda 2, después del recambio	
Figura 6-5 Temperatura interior y Temperatura exterior Vivienda 3, antes del recambio	
Figura 6-6 Temperatura interior y Temperatura exterior Vivienda 3, después del recambio	
Figura 6-7 Gráfico de Diferencia de humedad absoluta entre el interior y el exterior	
Figura 6-8 Grado de satisfacción según (ASHRAE, 2005)	

Figura 6-9 Diferencia de temperatura entre el sensor ubicado a 1,1m y el ubicado a 0,1m del suelo	71
Figura 6-10 Condiciones de temperatura y humedad absoluta asociadas a las zonas de confort térmico	73
Figura 7-1 Consumo de leña y Temperaturas Antes y Después del Recambio. Casa 1	80
Figura 7-2 Consumo de leña y Temperaturas Antes y Después del Recambio. Casa 2	80
Figura 7-3 Consumo de leña y Temperaturas Antes y Después del Recambio. Casa 3	81
Figura 7-4 Consumo unitario de leña (en kg/día) en función del aumento de temperatura (diferencia	a entre
temperatura interna y externa)	82
Figura 7-5 Consumo diario de leña vs el aumento de temperatura para cada casa	82
Figura 7-6 Consumo de leña vs diferencia de temperatura para la situación original y nueva (después del re	cambio
de calefactor) y relación lineal para ambos casos	
Figura 7-7 Modelo ajustado del efecto del cambio de calefactor en la relación entre el consumo de le	ıña y el
aumento de temperatura interior (para todas las casas juntas)	
Figura 7-8 Registro de temperatura media (24h) pata Coyhaique 2015	
Figura 7-9 Histograma de la diferencia de temperatura diaria calculada a partir de datos horarios	
Figura 7-10 Predicción de consumo diario de leña usando dos modelos estadísticos: lineal (izquierda) y	
(derecha)	
Figura 7-11 Consumo de leña promedio [kg/día] para situación nueva y original. Casa Promedio	
Figura 8-1 Esquema del Marco Metodológico Propuesto	
Figura 8-2 Modelo de análisis de las concentraciones interiores y los impactos en salud	
Figura 8-3 Relación entre las concentraciones ambientales de MP2,5 y la temperatura exterior para Coyhaiq	
Figura 8-4 Relación entre la temperatura interior y la exterior, para la casa 2 de Coyhaique (izquierda) y ca	
Puerto Aysén (derecha)	
Figura 8-5 Concentración intramuros de PM2.5 en función de la diferencia de temperatura interior y exterio	
3, Puerto Aysén	
Figura 8-6 histograma de concentraciones ambientales de MP2,5 y de temperatura horaria. Marzo a Novien	
Figura 8-7 relaciones no paramétricas de la concentración interior con la concentración exterior, la tempera la cituación de calefactor	-
a situación de calefactor Figura 8-8 Histograma de la concentración interior horaria para la situación nueva y antigua	
Figura 8-8 Histograma de la concentración interior noraria para la situación nueva y antigua Figura 8-9 Histograma de la reducción de la concentración interior horaria	97 98
	48

### **Tabla 1 Información General del Oferente**

rabia 2 information denotation of circuite		
Nombre del Oferente	DICTUC S.A.	
RUT	96.691.330-4	
Dirección	Avda. Vicuña Mackenna 4860, Macul	
Teléfono	02-3544886	
Representante del Oferente	Felipe Enrique Bahamondes Cid	
RUT Representante	10.284.889-6	
Teléfono de contacto	02-23544082	
Mail de contacto	pilar.lapuente@greenlabuc.cl	

### 1. Resumen Ejecutivo

Este documento corresponde al Informe Final del trabajo: "EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR, CONFORT AMBIENTAL Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DENTRO DE LAS VIVIENDAS BENEFICIADAS DEL PROGRAMA DE RECAMBIO EN LA REGIÓN DE AYSÉN", que DICTUC S.A. desarrolló para el Ministerio del Medio Ambiente, Subsecretaría del Medio Ambiente, Región de Aysén.

El objetivo general del estudio fue generar información relevante para la evaluación de la calidad del aire de los programas de recambio de calefactores efectuados en la Región de Aysén. Para cumplir con este objetivo, se analizó la calidad del aire interior mediante la medición de Monóxido de Carbono (CO), Material Particulado Fino (MP<sub>2.5</sub>), temperatura y humedad en los hogares, además de consumos de leña antes y después del recambio, bajo condiciones de uso normal de los calefactores, a partir de la utilización de equipos recambiados el año 2014.

A modo de proteger la identidad de las personas que participaron de esta experiencia piloto, las casas seleccionadas se denominan "Vivienda N° 1" (ubicada en Coyhaique), "Vivienda N° 2" (también ubicada en Coyhaique) y "Vivienda N° 3" (ubicada en Puerto Aysén).

Los resultados obtenidos, luego de realizada la caracterización térmica general de cada casa, son que las Viviendas 1 y 3 cuentan con una adecuada aislación térmica en sus muros, existiendo algunos puentes térmicos en las uniones del siding exterior debido a que éstas no son herméticas y, por ende, puede pasar aire a través de ellas. En estas dos viviendas se encontró que el piso no cuenta con aislación, presentándose flujos de energía hacia el exterior. Por su parte, la Vivienda 2 no cuenta con una adecuada aislación térmica, siendo ésta la con menor calidad constructiva entre las tres.

Con respecto a la eficiencia térmica del recambio, se obtiene que la Vivienda 3 ha alcanzado un porcentaje de mejora del 50,6% tras el recambio, es decir un consumo de la mitad de leña para obtener la misma diferencia de temperatura con el exterior. Por otra parte, las Viviendas 1 y 2 aumentaron su porcentaje de eficiencia en 13,6 y 6%, respectivamente.

En cuanto al análisis económico, el modelo desarrollado indica que el estatus del calefactor tiene dos efectos:

- 1. El calefactor antiguo requiere (en promedio) 1,34 [kg/día] de leña *adicional al calefactor nuevo* (o bien, el calefactor nuevo ahorra 1,34 [kg/día] de leña).
- 2. El calefactor antiguo requiere (en promedio) 0,48 [kg/día] de leña para aumentar la temperatura interior en 1 grado Celsius *adicional al calefactor nuevo*.

Además, el ahorro total, considerando el registro de temperatura de 2015 para una casa promedio es de casi 2.000 kilos de leña al año, o sea representa un 30% de ahorro. Para todas las Viviendas es conveniente sumarse al Programa de Recambio, pues su Valor Actual Neto es positivo en escenario de precio alto y bajo de leña. Además, es evidente que la inversión del Copago se recupera en un año, ya que el ahorro anual de leña es mayor a \$30.000 en todas las casas.

Con respecto a los impactos en salud, se puede mencionar lo siguiente:

- 1. El impacto del cambio de calefactores en la concentración de contaminantes intramuros puede resultar en una reducción de casi el 30% durante todo el año.
- 2. El cambio de calefactores también tiene un efecto en la temperatura interior de los hogares, logrando un confort térmico mayor. Este efecto tiene impactos en salud (desde enfermedades respiratorias agudas hasta mortalidad prematura, como muchos estudios lo muestran). Sin embargo el beneficio social de este efecto no se ha cuantificado.
- 3. El beneficio social cuantificado, que corresponde a la disposición a pagar por la reducción de riesgos de muerte prematura asociados a la menor contaminación intramuros, tiene un valor presente para una persona que vive permanentemente en la vivienda de hasta 3.370 dólares. Para un grupo familiar de 5 personas, el beneficio social puede llegar a 14.500 dólares.

Finalmente, a modo de recomendación ligado a los puntos anteriores, es indispensable poner énfasis en el mejoramiento térmico de las viviendas, ya que el impacto tendría un efecto sinérgico entre las variables medidas.

Además, se recomienda ampliar el estudio a más casas y aumentar el periodo de evaluación en invierno, para obtener datos más robustos y no solo referenciales.

### 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo General

El objetivo general del estudio es generar información relevante para la evaluación de la calidad del aire de los programas de recambio de calefactores efectuados en la Región de Aysén. Para esto se considera "Evaluar el impacto de la calidad del aire interior, confort ambiental y eficiencia energética dentro de las viviendas beneficiadas del programa de recambio en la región de Aysén". Para cumplir con este objetivo, se realizaron mediciones a parámetros de calidad del aire interior de los hogares (Monóxido de Carbono (CO), MP 2,5, temperatura y humedad), además de consumos de leña antes y después del recambio, bajo condiciones de uso real de los calefactores, a partir de la utilización de equipos recambiados el año 2014.

### 2.2 Objetivos Específicos

## 2.2.1 Medir a nivel intradomiciliario el Monóxido de Carbono (CO), Humedad (H<sub>W</sub>), Temperatura ambiente (T) y Material Particulado (MP)

Para cumplir con este objetivo se diseñó un plan de intervención para la medición de indicadores que permita comparar la calidad del aire intradomiciliario y parámetros de confort dentro de las viviendas beneficiadas por el programa de recambio de calefactores.

Las actividades desarrolladas dentro de este objetivo son:

- a) Plan de intervención
- b) Selección de las viviendas
- c) Caracterización térmica de las viviendas seleccionadas
- d) Medición de las variables ambientales
- e) Recambio de artefactos
- f) Comparación de resultados entre las diferentes tecnologías

### 2.2.2 Medir el consumo de leña de los artefactos antes y después del recambio.

Para lograr este objetivo se evalúa el consumo de leña exante y expost al recambio de calefactores. Para esto se desarrollan las siguientes actividades:

- g) Entrega de la leña a cada vivienda
- h) Diseño de bitácora
- i) Supervisión del consumo y registro de datos

- j) Cuantificación de la diferencia en el consumo de leña
- k) Evaluación económica básica

### 2.3 Elementos adicionales: Análisis de impacto a la salud de la población por recambio de calefactores

Además de un análisis económico básico, dentro del estudio se realizó un análisis del impacto a la salud de la población, incluyendo la valoración de estos impactos en el análisis económico. Para esto, se procedió a valorizar el impacto que tiene una mejor calidad del aire intradomiciliaria sobre la salud de las personas.

#### 3. Plan de intervención

Para medir los indicadores que permitieron comparar la calidad de aire intramiciliario y parámetros de confort térmico dentro de las viviendas, se desarrolló un plan de intervención que consideró los siguientes aspectos:

- a) Contacto con viviendas
- b) Definición de variables a medir
- c) Instrumentos de medición
- d) Protocolos de medición
- e) Registro de datos
- f) Adquisición de leña
- g) Adquisición de artefactos nuevos

A continuación se detalla cada uno de ellos.

### 3.1 Contacto con viviendas

Dado que el estudio considera la medición de variables en viviendas reales, el plan de intervención consideró realizar visitas preliminares a viviendas ubicadas en Coyhaique y Puerto Aysén, analizar en terreno sus principales características y preseleccionar aquellas que presentaran mejores condiciones para realizar las mediciones.

Para lo anterior, durante la reunión de inicio del estudio llevada a cabo el día 22 de septiembre de 2015, se solicitó a la Subsecretaría del Medio Ambiente de la Región de Aysén un listado de las viviendas potenciales para este estudio. Dicho listado correspondió a viviendas inscritas dentro del programa de recambio, pero que finalmente no resultaron beneficiadas. Personal de la Subsecretaría realizó un primer un contacto telefónico con los habitantes de las viviendas, con el fin de coordinar una visita de reconocimiento y pre evaluación del universo de las viviendas disponibles en la ciudad de Coyhaique y Puerto Aysén. Luego de esto, durante los días 23 y 24 de septiembre, se procedió a visitar un total de 11 viviendas en Coyhaique y 7 viviendas en la ciudad de Puerto Aysén. En estas visitas se pudo observar que entre todas las viviendas existen diferencias fundamentales de tamaño, material constructivo, aislación térmica, tipología (pareada o no pareada), con o sin cocina a leña, uso esporádico o permanente del calefactor, etc. Diferencias que, como se verá más adelante, influyeron en la selección final de las viviendas para este estudio.

### 3.2 Definición de variables a medir

La definición de las variables a ser medidas dentro del estudio está determinada por los objetivos del mismo, los cuales consideran las siguientes: concentraciones intradomiciliarias de Monóxido de Carbono (CO), temperatura y humedad ambiental interior, y consumo de leña del calefactor. No obstante, para realizar un adecuado análisis

comparativo, antes y después del recambio, se incorporaron las siguientes variables adicionales: Temperatura y humedad exterior, y concentración ambiental externa de CO, además de la medición interior de MP 2,5. Complementariamente, se incluyó la caracterización térmica mediante el uso de una cámara termográfica.

### 3.2.1 Temperatura y Humedad relativa

Los diferentes tipos de equipos de calefacción buscan proveer condiciones de "satisfacción térmica" para las personas, pero dicha satisfacción es inherentemente subjetiva, ya que depende de factores propios de cada persona como lo son el nivel metabólico, condiciones psicológicas, vestimenta utilizada, entre muchos otros. No obstante, dicha satisfacción se puede cuantificar mediante diferentes parámetros, entre los que destaca la temperatura y humedad ambiental. A partir de estos, se pueden calcular indicadores directos, empíricos o racionalmente derivados.

En este estudio se considerará como índices de confort térmico la escala de confort térmico de ASHRAE, la diferencia de temperatura vertical del aire y las zonas de confort térmico de ASHRAE, cuyas variables de entrada están relacionadas con la temperatura y humedad relativa al interior de las viviendas. Estos parámetros serán medidos a 10 cm y 1,10 m del piso, en el sector de la vivienda donde esté instalado el calefactor, en una habitación alejada del calefactor y en el exterior.

### 3.2.2 Monóxido de Carbono

El monóxido de carbono es un gas tóxico que puede causar la muerte a los humanos en concentraciones superiores a 600 ppm. Sin embargo, puede tener otros efectos menos graves que dependen tanto de su concentración como del tiempo de exposición, pero que desaparecen si la concentración baja o si la persona deja de exponerse a él (Turns, 1996). Por lo tanto se puede considerar que el monóxido de carbono tiene un efecto temporal (corto plazo), no acumulativo en el mediano y largo plazo.

De acuerdo a lo señalado por la Subsecretaría, se consideró medir este gas como un indicador de la calidad de la combustión, no obstante se cree que la concentración de dicho contaminante pudiera no ser relevante. Es por esto que se decidió incluir la medición de MP 2,5.

#### 3.2.3 Consumo de leña

Mediante un registro continuo durante 15 días antes y 15 días después del recambio de artefacto de calefacción se determina, mediante diferencia de peso, el consumo de leña de las dos viviendas seleccionadas en Coyhaique y de la casa seleccionada en Puerto Aysén.

### 3.2.4 Imágenes térmicas

Mediante imágenes térmicas se busca determinar eventuales zonas frías, mala aislación térmica, infiltraciones de aire o puentes térmicos presentes en las viviendas, de modo que éstas gueden caracterizadas cualitativamente.

### 3.2.5 Material Particulado

En general la concentración de CO al interior de las viviendas suele ser inferior a los límites recomendados, con lo cual se espera que tanto antes como después del recambio su medición no sea relevante. Es por esto, que de manera adicional se incorporó el monitoreo de MP 2,5.

### 3.2.6 Condiciones ambientales externas

Debido a que las mediciones antes y después del recambio se realizaron en distintos periodos de tiempo, es necesario interpretar los resultados en función de las condiciones ambientales externas, ya que una eventual disminución en el consumo de leña podría estar determinado más por un aumento de la temperatura ambiental externa que por un aumento en la eficiencia del calefactor utilizado. De esta forma, se hace necesario correlacionar los resultados con las condiciones ambientales externas.

### 3.3 Instrumentos de medición

Para desarrollar el estudio se realizó un análisis de los equipos disponibles en el mercado que cumplieran con las expectativas de medición de temperatura, humedad, Monóxido de Carbono, MP e Imágenes térmicas para una caracterización de las viviendas. Para cumplir con los requerimientos definidos por la SEREMI de MMA se seleccionaron los siguientes equipos:

### 3.3.1 Analizador de Monóxido de Carbono EL-USB-CO (CO) Data Logger

El EL-USB-CO que se aprecia en la Figura 3-1 es un instrumento registrador de datos USB que mide y almacena hasta 32.510 datos de Monóxido de Carbono (CO). Las lecturas tienen un rango de medición de 0 a 1.000 ppm. Su configuración facilita los intervalos de medición cada 3 segundos, 30 segundos, 1 minuto, 5 minutos y 10 minutos, brindando tiempos de respuesta rápida al momento de registrar mediciones puntuales.

Figura 3-1 Analizador de CO Ambiental



En la Tabla 2 se resumen las principales características técnicas del Analizador de CO utilizado durante el estudio.

Tabla 2 Principales Características del Analizador de CO

Especificación	Min.	Тур.	Max.	Unidad
Rango de medición	0		1000	ppm CO
Resolución interna		0.5		ppm CO
Precisión (error general)		± 6		% de la lectura
Repetibilidad		± 3		% de la lectura
Tasa de registro	cada 10 seg		cada 5min	-
Duración batería			3 meses	
Rango de temperatura de funcionamiento	-10		40	° C

### 3.3.2 Sensores de Temperatura y humedad iButtons

El iButton es un registrador de temperatura y humedad que almacena el resultado de las mediciones en su memoria interna. El almacenamiento es realizado en un intervalo de tiempo determinado y programable por el usuario, con una capacidad de 4.096 muestras que son configurables entre 1s y 273hrs. El iButton puede conectarse a un PC por medio de un adaptador serial o USB.

Figura 3-2 Sensor iButton de Temperatura y humedad ambiental



En la Tabla 3 se resumen las principales características de estos sensores.

Tabla 3 Principales Características de los Sensores iButtons

Especificación	Min.	Тур.	Max.	Unidad
Rango de medición	-20°, 0		85, 100	°C, %
Resolución interna		±0.5		°C
Precisión (error general)		±0.5		°C
Memoria SRAM			512	bytes
Tasa de registro	00:00:01		273:00:00	HH:mm:ss
Duración batería			3	meses
Rango de temperatura de funcionamiento	-20		85	°C

### 3.3.3 Cámara Termográfica DALI

Producto que todos los cuerpos emiten un grado de radiación infrarroja, las imágenes térmicas son fundamentales para determinar puntos de pérdida de energía o infiltraciones de aire a través de superficies, permitiendo detectar rápidamente los errores de construcción como una mal aislación, una terminación deficiente o que no se utilizaron los materiales adecuados.

Con el fin de identificar puentes térmicos y características térmicas generales de las viviendas, se utiliza la cámara termográfica mostrada a continuación.



En la siguiente Tabla se muestran las principales características de la cámara termográfica.

Tabla 4 Características de la Cámara Termográfica

Característica	Valor			
Características del detector	160×120, No refrigerado, FPA microbolómetro			
Imagen de pantalla	LCD, 2.7", 320×240			
Los rangos de temperatura	-20°C <b>~</b> +350°C			
Precisión	± 2 °C o ± 2% de lectura, lo que sea mayor			
Emisividad corrección Variable 0,01 a 1,0				
Temperatura ambiental de operación -15°C∼+50°C				
Humedad ambiental de operación	≤ 90% sin condensación			
Peso	1kg			
<b>Dimensiones</b> 105mm×245mm×230mm				

### 3.3.1 Monitor de MP 2,5 Dylos DC1700

Mediante el uso de este instrumento se registra la cantidad de partículas MP 2,5 presentes en el interior de las viviendas. Este monitor corresponde a un contador de partículas laser marca Dylos.



Figura 3-4 Medidor de MP 2,5 Dylos

A continuación se muestran sus principales características.

**Tabla 5 Características Dylos DC1700** 

Especificación	Min.	Тур.	Max.	Unidad
Rango de medición	>0,5		<2,5	Micras
Tasa de registro	00:01:00		273:00:00	HH:mm:ss
Duración batería			7	Horas
Rango de temperatura de funcionamiento	1		45	°C

### 3.3.2 Estaciones de monitoreo ambiental

La medición de las variables ambientales externas se realiza a través de las estaciones de monitoreo de la red SINCA y de la Dirección Meteorológica de Chile. Sin embargo, en Puerto Aysén no existen mediciones de CO, con lo cual en el exterior de la vivienda ubicada en dicha ciudad se instaló un analizador de este gas.

### 3.4 Protocolos de medición

Para monitorear las distintas variables mencionadas anteriormente, se establecieron los protocolos de medición detallados a continuación:

### 3.4.1 Medición de consumo y humedad de la leña

A continuación se describe el procedimiento para registrar el consumo y humedad de la leña.

- A cada una de las viviendas seleccionadas se les proporciona el equivalente a un máximo de 3 m³ de leña certificada.
- La leña fue entregada en sacos, previamente pesados y numerados.
- Cada 3 o 4 días se pesan los sacos para determinar el consumo de leña, manteniendo un registro del peso en el "Formulario de registro de consumo de leña" elaborado para este estudio.
- Cada 3 o 4 días se mide la humedad de 5 leños del saco que se encuentre en uso y se registra en el "Formulario de registro de humedad de leña en uso".

### 3.4.2 Medición de Monóxido de Carbono

La medición de CO se realiza de la siguiente forma:

- Conectar el sensor a un computador en un puerto USB.
- Configurar el sensor de CO mediante el software Easylog USB.

- Ubicar el sensor de CO en un punto predefinido.
- Descargar los datos registrados cada 3 o 4 días.
- Registrar los datos obtenidos en la "Planilla registro Macro" correspondiente a la dirección de la vivienda.
- Repetir el proceso desde el inicio cada vez que se descarguen las mediciones.

### 3.4.3 Medición de Temperatura ambiental y humedad relativa

Para registrar la temperatura y humedad dentro de las viviendas, se sigue el siguiente procedimiento.

- Conectar el adaptador USB a un computador en un puerto USB.
- Conectar un sensor iButton al adaptador USB.
- Configurar los sensores iButton con intervalos de medición y registro cada 5 minutos (300 segundos).
- Instalar 3 sensores por vivienda.
- Ubicar el sensor definido como N°1 en una muralla a 10 cm vertical al piso.
- Ubicar el sensor definido como N°2 en la muralla seleccionada con anterioridad entre 110 a 120 cm del piso, trazando una línea de forma vertical en dirección al techo siguiendo la línea de ubicación del sensor anterior.
- Ubicar el sensor definido como N°3 en un punto alejado de la estufa (dormitorio) aproximadamente a 20 o 30 cm del techo.
- Realizar visitas cada 3 o 4 días para descargar datos de medición.
- Configurar nuevamente repitiendo los pasos desde el inicio.

### 3.4.4 Caracterización mediante Imagen térmica

A continuación se describe el procedimiento para registrar imágenes térmicas de las viviendas.

- Encender la cámara e ingresar la emisividad de acuerdo a la superficie a medir (típicamente e = 0,9 – 0,98).
- Proceder a tomar fotografías térmicas tanto del interior como del exterior de las viviendas.
- Durante cada descarga de datos, tomar mínimo 6 fotografías térmicas (fachada de vivienda, pared cercana a la estufa y dormitorios).
- Descargar las imágenes en un computador, mediante el software de la cámara..

### 3.4.5 Adquisición de datos ambientales y meteorológicos de Coyhaique y Puerto Aysén

Para llevar registro de las condiciones externas se procede a obtener datos ambientales y meteorológicos de Coyhaique y Puerto Aysén. Los datos se obtienen de la página web de la Dirección Meteorológica de Chile y del SINCA para los 15 días durante la primera y segunda campaña de medición.

### 3.5 Registro de datos

Para obtener información relevante al estudio se diseñaron una serie de documentos que se detallan a continuación:

- Consentimiento informado para participar del Estudio del Ministerio del Medio Ambiente. Este documento es el acuerdo de compromiso de las partes (SEREMI MMA, Persona Natural y participante del programa de recambio, Consultor Dictuc S.A.) para cooperar en mutuo beneficio.
- Formulario tipológico de la vivienda e información del calefactor. Este documento entrega información constructiva de la vivienda y la información del calefactor actualmente en uso.
- Formulario de registro de consumo de leña y Formulario de registro de humedad de leña en uso. Este formulario se utiliza como registro interno del consumo de leña; cada saco de leña se pesa al ser entregado al responsable de cada vivienda y se registra el valor del peso cada 3 o 4 días para determinar el consumo de combustible.
- Encuesta de consumo de leña y sensación térmica. Esta encuesta se realiza con el fin de cuantificar la cantidad de leña que se utiliza y evaluar la sensación térmica que las personas perciben al utilizar el calefactor. Se registran además los eventos que tengan relevancia.
- Planilla registro Macro. La planilla llevará como nombre "Macro\_Dirección" en la que se descargará la totalidad de la información de los sensores de Temperatura, Humedad, Monóxido de carbono y MP.

### 3.6 Adquisición de leña

Para realizar la adquisición de la leña se contactó a los proveedores de leña certificada de la ciudad de Coyhaique y Puerto Aysén mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6 Proveedores Potenciales de Leña Certificada

Razón social
Leñería Shalom (Coyhaique)
El Patrón (Coyhaique)
Marcos Gallardo (Coyhaique)
La Leñadora (Coyhaique)
Laminadora Austral (Coyhaique)
Luis Saenz Vega (Coyhaique)
Hilda Barrientos (Coyhaique)
El Paisano (Coyhaique)
José Velásquez Tocol (Coyhaique)
Forestal Los Treiles Ltda. (Coyhaique)
Cristian Santolalla (Coyhaique)
Heriberto Contreras Romani (Aysén)
Juan Carlos Gerard (Coyhaique)

Se determinó en conjunto con personal de la SEREMI adquirir la leña en sacos de aproximadamente 25 kg, permitiendo un fácil monitoreo de la cantidad consumida y fácil almacenaje para mantener el porcentaje de humedad de la leña (15% a 19%).

El proveedor único seleccionado para este estudio fue "La leñadora". Con esto se busca que todas las viviendas, tanto antes como después del recambio, utilicen la misma leña certificada.

### 3.7 Adquisición calefactores nuevos

Como parte final del plan de intervención se procedió a adquirir los nuevos calefactores para que, terminados los primeros 15 días de medición con los calefactores actualmente instalados en cada vivienda, se proceda a realizar el recambio. Para el cumplimento de esta actividad se adquirieron tres estufas nuevas (Calefactor leña 74x51x47cm Nordic 380 marca AMESTI) y tres kit de instalación para cada una de las viviendas. A modo de referencia en la Figura 3-5 se muestra dicho calefactor y su respectivo kit.

Figura 3-5 Calefactor Nordic 380 marca AMESTI y Kit de instalación





### 4. Selección de las viviendas

Para la selección de las viviendas se consideraron los siguientes aspectos:

- a) Listado de viviendas potenciales
- b) Criterio de selección
- c) Ubicación de las viviendas seleccionadas
- d) Instalación de instrumentos de medición

A continuación se describe el procedimiento de selección.

### 4.1 Listado de viviendas potenciales

En conjunto con la Subsecretaría se procede a analizar el listado de viviendas preseleccionadas, que se encuentran actualmente participando en el programa de recambio de calefacción de la SEREMI de MMA (Nombre del postulante, dirección, número de contacto y correo electrónico), y a visitarlas.

A continuación se presentan las imágenes de algunas de las viviendas que fueron visitadas en la ciudad de Coyhaique.

Figura 4-1 Fotos de algunas de las viviendas preseleccionadas en Coyhaique













A continuación se presentan las imágenes de algunas de las viviendas que fueron visitadas en la ciudad de Puerto Aysén.

Figura 4-2 Fotos de algunas de las viviendas preseleccionadas en Puerto Aysén













Tanto en Coyhaique como en Puerto Aysén, y como se observa en la fotografías anteriores, se pudo ver que no existía una tipología estándar de vivienda, siendo muy distintas entre sí tanto en configuración como calidad constructiva. La mayoría de ellas correspondía a viviendas pareadas, con lo cual los resultados tendrían influencia de las viviendas contiguas. En algunos casos los dueños de casas no manifestaron su interés por participar del estudio, o además del calefactor también tenían cocina a leña, o la vivienda también se utilizaba como almacén comercial, entre otras consideraciones. Estos antecedentes fueron tomados en cuenta al momento de escoger las viviendas para este estudio.

### 4.2 Criterio de selección

Una vez preseleccionadas y visitadas las viviendas, se procedió a escoger las 2 definitivas de Coyhaique y la de Puerto Aysén. Para esto, en conjunto con la Subsecretaría, se tomó

en consideración como primer criterio que la casa no fuera pareada y que no tuviera adicionalmente otra fuente de calefacción importante como lo es una cocina a leña. Para Coyhaique también se tuvo en cuenta la calidad constructiva, acordando escoger una con aparente mala aislación térmica y otra con buena aislación térmica. Para el caso de Puerto Aysén se escogió la única vivienda que no era pareada, que no tenía cocina a leña y cuyos habitantes estuvieron dispuestos a participar del estudio.

### 4.3 Ubicación de las viviendas seleccionadas

La descripción genérica de las casas seleccionadas es la siguiente:

Vivienda 1: Población Bicentenario, ciudad de Coyhaique Vivienda 2: Población Barrio Seco, ciudad de Coyhaique

Vivienda 3: Rivera Sur de Aysén.

### 4.4 Instalación de instrumentos de medición

Los distintos instrumentos de medición fueron instalados los días 13 y 14 de octubre de 2015, quedando en funcionamiento inmediato. En el interior de cada vivienda se instalaron 3 sensores de temperatura y humedad, y uno de monóxido de carbono, además de un sensor de temperatura y humedad en el exterior. En el caso de la vivienda de Puerto Aysén también se instaló un sensor de monóxido de carbono en el exterior, ya que para dicha ciudad no hay estaciones de monitoreo de calidad de aire exterior. Adicionalmente, se instaló un sensor de MP 2,5 en el interior de una de las viviendas de Coyhaique y en la de Puerto Aysén.

Las siguientes imágenes muestran la ubicación de cada sensor en las 3 viviendas seleccionadas.

### 4.4.1 Vivienda N°1

### Temperatura y Humedad

Figura 4-3 Sensores de T y Hw instalados al interior y exterior de la vivienda N° 1





Se aprecia en las imágenes los Sensores instalados a 1,1 m y 10 cm del piso; y el Sensor en el exterior de la vivienda

### Monóxido de Carbono



Figura 4-4 Sensor de CO instalado al interior de la vivienda N° 1

Se aprecia en la foto el sensor ubicado en el pilar de la escalera a 1 metro del piso.

### 4.4.2 Vivienda N°2

### Temperatura y Humedad

Figura 4-5 Sensores de T y Hw instalados al interior de la vivienda N° 2



En la imagen de la izquierda se observa el sensor instalado a 1,10 m del piso, en la pared del comedor; y en la de la derecha, verticalmente hacia abajo del anterior, el sensor instalado a 10 cm del piso.



A la izquierda se observa el sensor instalado en el dormitorio de la Vivienda N° 2 a 10 cm del techo, mientras que a la derecha se ve el sensor ubicado en el exterior de la vivienda, bajo el medidor de electricidad.

### Monóxido de Carbono

Figura 4-7 Sensor de CO instalado al interior de la vivienda N° 2



En las imágenes se aprecia la ubicación del sensor instalado en el living de la vivienda, a 1,20 m del piso.

### 4.4.3 Vivienda N°3

### Temperatura y Humedad

Figura 4-8 Sensores de T y Hw instalados al interior de la vivienda N° 3



A la derecha se aprecia el sensor instalado a 10 cm del piso, en la pared del comedor; y a la izquierda el sensor instalado a 1,10 m del piso.

Figura 4-9 Sensores de T y Hw instalados al interior y exterior de la vivienda N° 3



La imagen de la izquierda muestra el sensor instalado en el dormitorio de la dueña de casa, a 10 cm del techo, y la de la derecha el sensor ubicado en el exterior de la vivienda, bajo el alero de la entrada.

### Monóxido de Carbono

Figura 4-10 Sensor de CO instalado al interior y exterior de la vivienda N° 3



En las imágenes se aprecia la ubicación del sensor en el interior de la vivienda, sobre un estante en el comedor, a 1,20 cm del piso y el sensor en el exterior de la vivienda, a 1,20 cm del piso.

#### 5. Caracterización térmica

Con el fin de documentar cualitativamente las características térmicas de las viviendas seleccionadas, se procedió a tomar fotografías térmicas de éstas. Es importante destacar que las propiedades constructivas de las viviendas serán constantes durante todo el estudio, con lo cual éstos no serán parámetros relevantes al momento de comparar el consumo de leña antes y después del recambio. De esta forma, no se busca con esta caracterización determinar cuantitativamente las propiedades térmicas de las viviendas, sino sólo dejar registro de algunos aspectos generales cualitativos.

La caracterización térmica se define según los siguientes criterios:

- a) Descripción general
- b) Características constructivas de las viviendas
- c) Imágenes térmicas
- d) Hábitos de uso

Para el caso de la imágenes térmicas, estás se presentan con valores referenciales para temperaturas superficiales en paredes, cielos o pisos. Para esto se determinan puntos específicos o líneas en las cuales se muestra el valor máximo y mínimo a través de ellas.

### 5.1 Vivienda N° 1

### 5.1.1 Descripción general

La vivienda N°1 consta de dos pisos. En el primero se encuentra el living, comedor, cocina, baño, el dormitorio N°1 y la escalera al segundo piso. En el segundo piso se encuentra el dormitorio N°2.

Figura 5-1 Distribución general del exterior de la vivienda N°1



Figura 5-2 Fotos del primer nivel de la vivienda. 1,2 y 3 muestran el living comedor, la foto 4 muestra la cocina, la foto 5 las puertas y anexos al baño y la foto 6 el dormitorio N°1











Figura 5-3 Dormitorio del segundo piso de la vivienda N°1





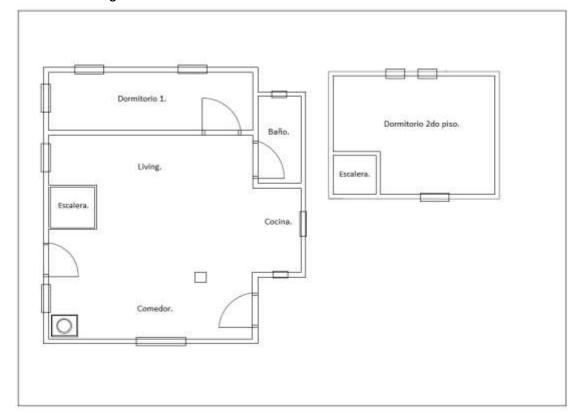


Figura 5-4 Plano referencial de la distribución de la Vivienda N°1

### 5.1.2 Características constructivas de la Vivienda

A continuación, se describen las principales características constructivas de la Vivienda N°1.

- Superficie construida: 51 m².
- Paredes internas: Yeso Cartón de 3 mm.
- Paredes externas: Siding de PVC.
- Estructura: Acero Galvanizado.
- Aislación: Lana mineral.
- Techo: Zinc.
- Cielo: Yeso Cartón de 3mm.
- Cimiento: Concreto
- Piso: Cerámica.
- Ventanas: 7 ventanas de 100 cm x 120 cm, 3 ventanas de 40 cm x 40 cm y una de 30 cm x 70 cm.

### 5.1.3 Imágenes térmicas

A continuación se procede a realizar un análisis referencial mediante imágenes térmicas tomadas en algunos lugares de interés.

### **Exterior de la Vivienda**

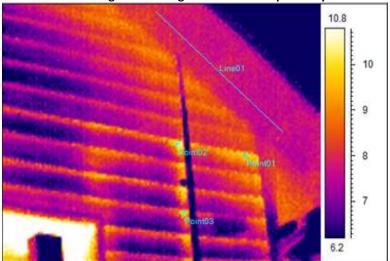
### **Frontis**

Las siguientes imágenes muestran el exterior frontal de la vivienda y se toman como referencia las temperaturas de algunos puntos de ella.

Figura 5-5 Frontis exterior de la vivienda N°1

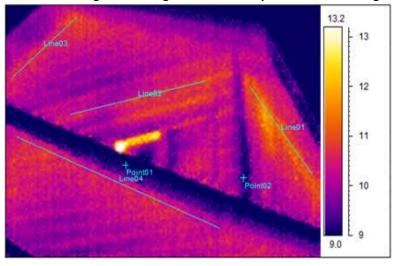


Figura 5-6 Imagen térmica de la parte superior del frontis de la vivienda



Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	9,9°C
Punto 02	10,5°C
Punto 03	10,2°C
Análisis de línea	Valor
Línea 01 Max	8,2°C
Línea 01 Min	7,4°C

Figura 5-7 Imagen térmica de la parte exterior del segundo piso de la vivienda



Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	8,7°C
Punto 02	9,3°C
Análisis de línea	Valor
Línea 01 Max	11,9 °C
Línea 01 Min	10,7°C
Línea 02 Max	11,1°C
Línea 02 Min	9,9°C
Línea 03 Max	11,2°C
Línea 03 Min	10,3°C
Línea 04 Max	11,1°C
Línea 04 Min	9,9°C

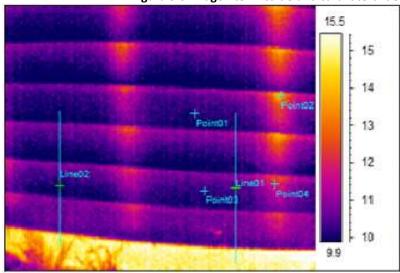
La primera imagen térmica corresponde a la parte superior derecha del frontis del primer piso, y se observa que en general es una pared fría (exteriormente), lo que habla de una correcta aislación térmica. Sin embargo, se aprecian mayores temperaturas en las uniones del siding de PVC en comparación con las otras zonas del muro, lo que probablemente sea originado por infiltraciones de aire a través de ellos debido a que dichas uniones no son herméticas. La fachada en el segundo piso presenta una mayor temperatura que el primero, pero aun así sigue siendo una cara fría aislada térmicamente.

### Costado derecho

La siguiente imagen muestra el costado derecho de la vivienda

Figura 5-8 Costado derecho de la vivienda N°1

Figura 5-9 Imagen térmica de una cara lateral de la vivienda



Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de	
Punto	Valor
Punto 01	10,5 °C
Punto 02	13,5°C
Punto 03	10,1°C
Punto 04	12,1°C
Análisis de línea	Valor
Línea 01 Max	15,2°C
Línea 01 Min	10,0°C
Línea 02 Max	14,9°C
Línea 02 Min	9,7°C

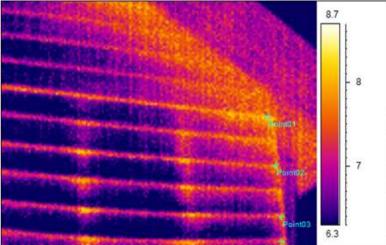
En la imagen térmica anterior destaca la pérdida de energía a través del piso de la vivienda, el cual no cuenta con aislación térmica. Además se observan los puentes térmicos originados, probablemente, por los puntos de soporte del siding.

# Parte trasera de la vivienda

En las siguientes fotografías se muestra el exterior trasero de la vivienda.

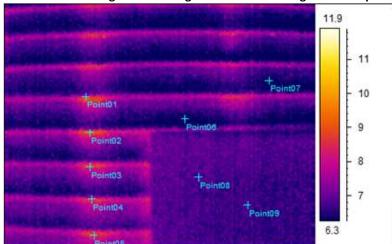
Figura 5-10 Parte trasera de la vivienda N°1

Figura 5-11 Imagen térmica de parte superior de la cara posterior de la vivienda



Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	8,2 °C
Punto 02	8,0°C
Punto 03	7,8°C
Punto 04	7,9°C

Figura 5-12 Imagen térmica del siding de la cara posterior de la vivienda



Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	8,9 °C
Punto 02	8,9°C
Punto 03	8,6°C
Punto 04	8,5°C
Punto 05	8,3°C
Punto 06	6,3°C
Punto 07	6,4°C
Punto 08	6,7°C
Punto 09	6,4°C

En las imágenes anteriores se destaca que no existen mayores diferencias de temperatura entre los distintos puntos de esta cara, teniendo un comportamiento similar a la de la fachada.

# Interior de la Vivienda

# Comedor

Las siguientes imágenes muestran el comedor de la vivienda.

Figura 5-13 Comedor de la vivienda N°1

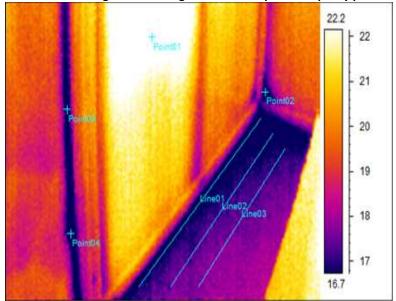


Figura 5-14 Imagen térmica de una zona del cielo y parte superior interior de la vivienda



Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	23,0 °C
Punto 02	31,6°C
Punto 03	31,2°C
Punto 04	27,3°C

Figura 5-15 Imagen térmica de parte del piso y parte inferior de la vivienda



Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	22,9 °C
Punto 02	16,6°C
Punto 03	16,2°C
Punto 04	15,6°C
Análisis de línea	Valor
Análisis de línea Línea 01 Max	Valor 17,1°C
Línea 01 Max	17,1°C
Línea 01 Max Línea 01 Min	17,1°C 15,0°C
Línea 01 Max Línea 01 Min Línea 02 Max	17,1°C 15,0°C 17,9°C

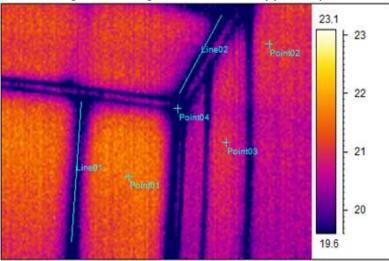
En las imágenes anteriores se aprecian puentes térmicos en las uniones de los paneles, además de visualizarse desde el interior el piso frío sin aislación. El resto son superficies calientes, lo que confirma la adecuada aislación térmica de la vivienda.

### Habitación segundo piso

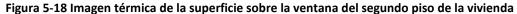
Finalmente se muestras imágenes térmicas de la habitación del segundo piso.

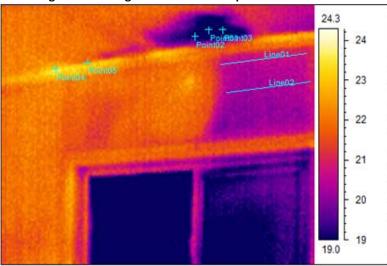


Figura 5-17 Imagen térmica del cielo y parte superior del segundo piso de la vivienda



Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	21,3 °C
Punto 02	21,2°C
Punto 03	21,0°C
Punto 04	17,9°C
Análisis de línea	Valor
Línea 01 Max	19,9°C
Línea 01 Min	18,7°C
Línea 02 Max	19,8°C
Línea 02 Min	18,2°C





Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	18,7 °C
Punto 02	19,1°C
Punto 03	18,6°C
Punto 04	23,7°C
Punto 05	22,6°C
Análisis de línea	Valor
Línea 01 Max	21,2°C
Línea 01 Min	20,3°C
Línea 02 Max	20,6°C
Línea 02 Min	20,0°C

Nuevamente se observan puentes térmicos en las uniones de los tabiques. También se puede ver que sobre la ventana y una porción del cielo existen deficiencias en el aislamiento térmico, además de apreciarse las pérdidas de energía por la ventana. En el resto de la imagen se las observan superficies calientes, dando cuenta nuevamente de la calidad de la aislación térmica general de la vivienda.

#### 5.1.4 Hábitos de uso.

Según lo expresado por los habitantes de la vivienda N° 1, el habitual uso que se le da al calefactor en otoño e invierno es encenderlo aproximadamente a las 06:30 hrs y 13:30 hrs, y entre las 18:30 hrs y 00:00 hrs, aproximadamente.

En primavera se enciende a las 06:30 hrs con intervalos de encendido y apagado hasta las 11:30 hrs aproximadamente, mientras que en las tardes su funcionamiento depende de las condiciones externas. En verano se enciende a la 6:30 hrs y apaga dependiendo de la temperatura ambiental externa. El calefactor se utiliza de forma habitual los 7 días de la semana y cuando se encuentra encendido también se utiliza para calentar agua en una tetera.

Las personas que habitan habitualmente la vivienda son dos adultos de forma periódica (trabajadores), una adolecente de forma periódica (escolar), un niño de 5 años y un adulto de forma permanente.

El calefactor a leña que se encuentra instalado en esta vivienda tiene una potencia nominal de 4kW y presenta deficiencias en su tiraje (emite humo según sus habitantes).

# 5.2 Vivienda N° 2

# 5.2.1 Descripción general

La vivienda seleccionada N°2 estructuralmente es de un piso, el cual consta de una cocina, living comedor (juntos), un baño y dos dormitorios.













Figura 5-21 Plano referencial de la distribución de la vivienda N°2

Cocina.

Dormitorio 1.

Living.

Dormitorio 2.

### 5.2.2 Características constructivas de la Vivienda

A continuación, se describen las principales características constructivas de la vivienda N°2.

- Superficie construida: 42 m².
- Paredes Internas: Maderas Cholguán 3mm.

Paredes externas: Siding de Madera.

- Estructura: Madera.

- Aislación: Cámara de aire.

- Techo: Zinc.

- Cielo: Maderas Cholguán 3mm.

Cimiento: ConcretoPiso: Cerámica.

- Ventanas: 7 ventanas de 100 cm x 120 cm y una ventana de 40 cm x 40 cm.

# 5.2.3 Imágenes térmicas

A continuación, se realiza un análisis referencial de las características térmicas de la vivienda mediante imágenes termográficas.

### Exterior de la Vivienda

### **Frontis**

Las imágenes presentadas a continuación muestran el frontis de la vivienda.



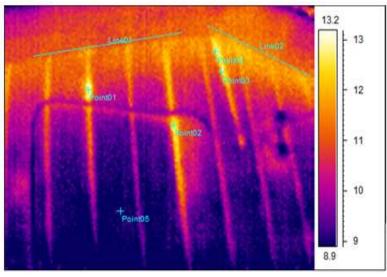


Figura 5-23 Imagen térmica de la parte superior izquierda del frontis de la vivienda



Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	13,5 °C
Punto 02	13,5°C
Punto 03	13,8°C
Punto 04	11,8°C
Análisis de línea	Valor
Línea 01 Max	12,1°C
Línea 01 Min	10,9°C

Figura 5-24 Imagen térmica de la parte central superior del frontis de la vivienda



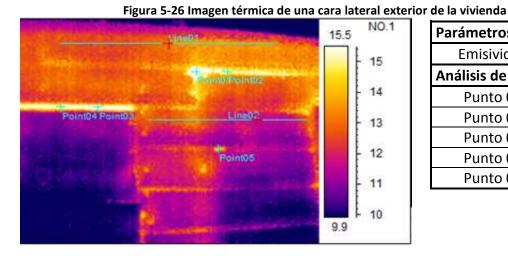
Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	13,3 °C
Punto 02	12,8°C
Punto 03	13,0°C
Punto 04	13,0°C
Punto 05	8,9°C
Análisis de línea	Valor
Línea 01 Max	11,7°C
Línea 01 Min	10,7°C
Línea 02 Max	12,0°C
Línea 02 Min	11,1°C

En las imágenes se aprecian superficies exteriores calientes en las zonas altas del techo, en la parte superior izquierda de la fachada y en las uniones de las tablas de madera que forman el siding exterior. Los puntos calientes en las uniones de las tablas probablemente se deben a infiltraciones de aire, mientras que las superficies calientes a una mala aislación térmica de la vivienda.

# Costado derecho

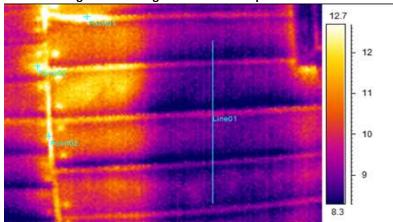
Las imágenes que se observan a continuación corresponden al costado derecho externo de la vivienda que posteriormente se analizara mediante imágenes térmicas.

Figura 5-25 Costado derecho de la vivienda N°2



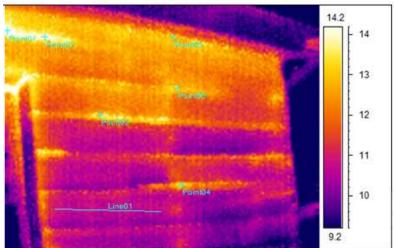
Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	16,2 °C
Punto 02	15,2°C
Punto 03	16,0°C
Punto 04	15,4°C
Punto 05	14,1°C

Figura 5-27 Imagen térmica de un puente térmico en una cara lateral de la vivienda



Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	14,8 °C
Punto 02	13,4°C
Punto 03	13,0°C
Análisis de línea	Valor
Línea 01 Max	9,7°C
Línea 01 Min	8,0°C

Figura 5-28 Imagen térmica de la parte superior de una cara lateral de la vivienda



Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	15,6 °C
Punto 02	14,2°C
Punto 03	13,8°C
Punto 04	13,4°C
Punto 05	13,6°C
Análisis de línea	Valor
Línea 01 Max	11,2°C
Línea 01 Min	10,5°C

Con las imágenes anteriores queda en evidencia que la vivienda no cuenta con una adecuada aislación térmica, ya que presenta extensas superficies externas calientes. De acuerdo a la información recopilada, esta vivienda no contaría con un aislante específico en sus paredes, hecho que concuerda con lo registrado mediante las imágenes térmicas.

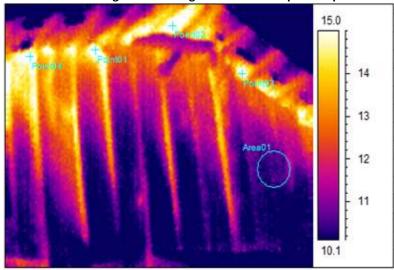
# Parte trasera de la vivienda

Las siguientes imágenes muestran el exterior trasero de la vivienda.

Figura 5-29 Parte trasera de la vivienda N°2

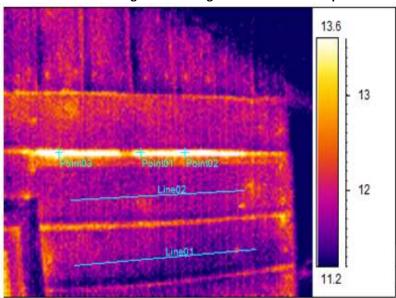


Figura 5-30 Imagen térmica de la parte superior trasera de la vivienda



Valor
0,96
Valor
15,9°C
16,1°C
15,3°C
16,1°C
Valor
11,5°C
9,8°C

Figura 5-31 Imagen térmica de la cara posterior de la vivienda



Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	14,6°C
Punto 02	14,0°C
Punto 03	14,7°C
Análisis de línea	Valor
Línea 01 Max	12,2°C
Línea 01 Min	11,3°C
Línea 02 Max	12,3°C
Línea 02 Min	11,5°C

En la zona trasera de la vivienda se observa algo similar a lo que ocurre con su fachada: un aumento en la temperatura externa en las zonas altas del techo y en las uniones de las tablas de madera.

# Interior de la vivienda

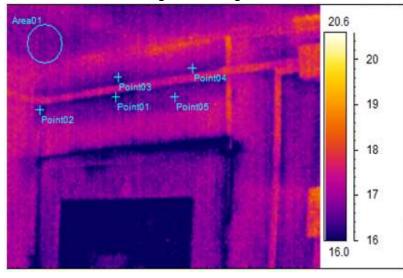
# <u>Living</u>

Las imágenes que se presentan a continuación son representativas del living de la vivienda.



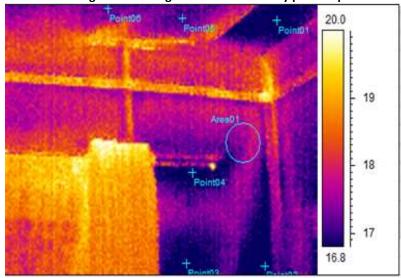
Figura 5-32 Living de la Vivienda N°2

Figura 5-33 Imagen térmica del interior de la vivienda



Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	16,1°C
Punto 02	16,4°C
Punto 03	16,6°C
Punto 04	16,8°C
Punto 05	16,4°C
Análisis de Área	Valor
Área 01 Max	17,4°C
Área 01 Min	16,4°C

Figura 5-34 Imagen térmica del cielo y parte superior del interior de la vivienda



Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	16,6°C
Punto 02	16,5°C
Punto 03	16,6°C
Punto 04	16,5°C
Punto 05	17,0°C
Punto 06	17,3°C
Análisis de Área	Valor
Área 01 Max	18,2°C
Área 01 Min	16,8°C

En las paredes interiores y partes del cielo se observan zonas relativamente frías, lo que confirma el mal aislamiento térmico general de la vivienda.

#### 5.2.4 Hábitos de uso.

En temporada de otoño e invierno, el calefactor de la vivienda N°2 se enciende desde las 7:00 hrs hasta las 9:00 hrs y desde las 18:30 hrs hasta las 00:00 hrs, aproximadamente, mientras que en primavera y verano su funcionamiento depende de la temperatura exterior. La vivienda es habitada solo por la dueña de casa.

El calefactor a leña que se encuentra instalado en esta vivienda tiene una potencia de 7.300 kcal/h y corresponde a uno marca Amesti, modelo 360.

# 5.3 Vivienda N°3

# 5.3.1 Descripción general

La vivienda N°3, estructuralmente es de un piso que consta del living, comedor, cocina, baño y dos dormitorios.

A continuación se muestran imágenes referenciales del exterior e interior de la vivienda.



Figura 5-35 Fachada y parte trasera de la vivienda N° 3

Figura 5-36 Fotos superiores muestran living y en las inferiores el pasillo de acceso a los dormitorios









Dormitorio 2.

Dormitorio 1.

Comedor.

Living.

Figura 5-37 Plano referencial de la distribución de la vivienda N°3

### 5.3.2 Características constructivas de la Vivienda

A continuación se mencionan las principales características de la casa N°3:

- Superficie construida: 45 m<sup>2</sup>.
- Paredes Internas: Yeso Cartón de 4 mm.
- Paredes externas: Siding de PVC.
- Estructura: Acero Galvanizado.
- Aislación: Lana mineral.
- Techo: Zinc.
- Cielo: Yeso Cartón de 3 mm.
- Cimiento: Concreto
- Piso: Cerámica.
- Ventanas: 5 ventanas de 100 cm x 120 cm y una ventana de 40 cm x 40 cm.

# 5.3.3 Imágenes térmicas

A continuación se hace un análisis referencial de las características térmicas de la vivienda.

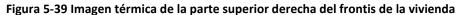
# Exterior de la Vivienda

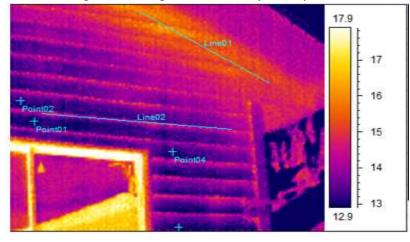
### **Frontis**

En las imágenes mostradas a continuación se aprecia el frontis de la vivienda.



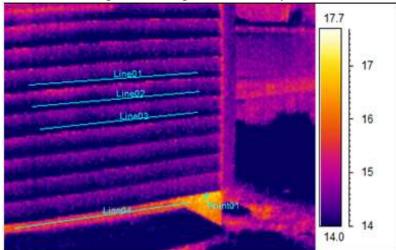
Figura 5-38 Frontis exterior de la vivienda N°3





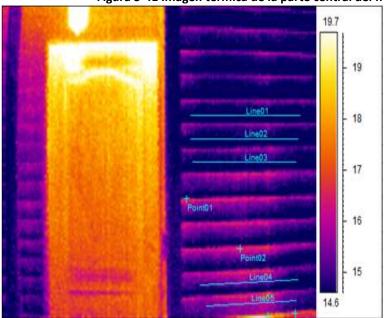
Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	13,0°C
Punto 02	13,0°C
Punto 03	13,0°C
Punto 04	13,2°C
Análisis de línea	Valor
Línea 01 Max	16,3°C
Línea 01 Min	14,9°C
Línea 02 Max	15,2°C
Línea 02 Min	13,5°C

Figura 5-40 Imagen térmica de la parte inferior del frontis de la vivienda



Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	17,0°C
Análisis de línea	Valor
Línea 01 Max	14,2°C
Línea 01 Min	13,3°C
Línea 02 Max	14,2°C
Línea 02 Min	13,5°C
Línea 03 Max	14,2°C
Línea 03 Min	13,3°C
Línea 04Max	16,6°C
Línea 04 Min	15,3°C

Figura 5-41 Imagen térmica de la parte central del frontis de la vivienda



Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	16,8°C
Punto 02	16,8°C
Punto 03	19,2°C
Punto 04	17,0°C
Análisis de línea	Valor
Línea 01 Max	14,8°C
Línea 01 Min	14,1°C
Línea 02 Max	14,9°C
Línea 02 Min	14,0°C
Línea 03 Max	14,9°C
Línea 03 Min	14,1°C
Línea 04 Max	15,7°C
Línea 04 Min	14,4°C
Línea 05 Max	16,3°C
Línea 05 Min	14,9°C

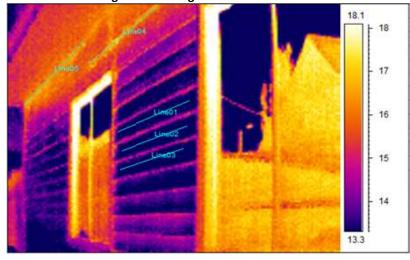
En las imágenes anteriores se ven pequeños aumentos de temperatura en las uniones del siding de PVC, en la zona donde se une la pared con la techumbre, en el piso y la puerta. No obstante, en términos generales la fachada corresponde a una superficie exterior fría, lo que da cuenta de una adecuada aislación térmica de la vivienda.

# Costado derecho

Las siguientes imágenes corresponden al costado derecho de la vivienda.

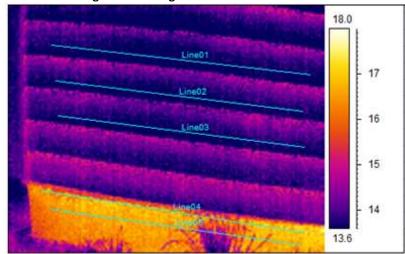






Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de línea	Valor
Línea 01 Max	13,4°C
Línea 01 Min	12,5°C
Línea 02 Max	13,0°C
Línea 02 Min	12,3°C
Línea 03 Max	13,2°C
Línea 03 Min	12,6°C
Línea 04 Max	17,7°C
Línea 04 Min	15,9°C
Línea 05 Max	16,9°C
Línea 05 Min	16,0°C

Figura 5-44 Imagen térmica de la zona inferior de la cara lateral de la vivienda



Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de línea	Valor
Línea 01 Max	13,9°C
Línea 01 Min	13,0°C
Línea 02 Max	13,9°C
Línea 02 Min	13,2°C
Línea 03 Max	14,1°C
Línea 03 Min	13,2°C
Línea 04 Max	17,5°C
Línea 04 Min	15,3°C
Línea 05 Max	17,0°C
Línea 05 Min	14,1°C

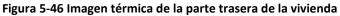
En estas imágenes nuevamente se aprecian aumentos de temperatura en las uniones del siding, en las zonas altas al llegar a la techumbre y en el piso. El resto corresponden a superficies externas frías, reafirmándose lo comentado anteriormente.

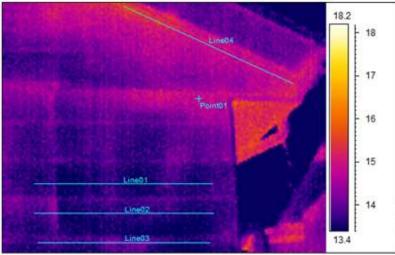
### Parte trasera

A continuación se muestra la parte trasera de la vivienda.



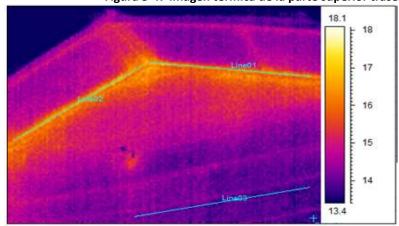
Figura 5-45 Parte trasera de la vivienda N° 3





Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	15,0°C
Análisis de línea	Valor
Línea 01 Max	14,3°C
Línea 01 Min	13,2°C
Línea 02 Max	14,4°C
Línea 02 Min	13,3°C
Línea 03 Max	14,4°C
Línea 03 Min	13,3°C
Línea 04Max	15,7°C
Línea 04 Min	14,6°C
·	

Figura 5-47 Imagen térmica de la parte superior trasera de la vivienda



Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	13,7°C
Análisis de línea	Valor
Línea 01 Max	17,2°C
Línea 01 Min	15,8°C
Línea 02 Max	17,1°C
Línea 02 Min	16,1°C
Línea 03 Max	14,4°C
Línea 03 Min	13,6°C

Una vez más se observa que en las zonas más altas de la pared se producen aumentos de temperatura, correspondiendo, probablemente, a deficiencias en la instalación de la aislación térmica de la vivienda. No obstante, el resto del muro se aprecia como una superficie externa fría.

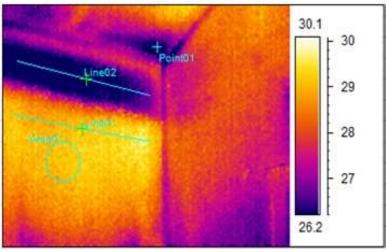
# Interior de la Vivienda

# Living comedor

En las imágenes siguientes se muestra el living comedor de la vivienda.

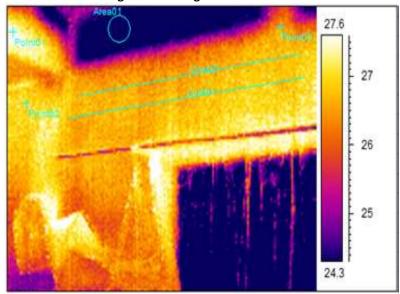


Figura 5-49 Imagen térmica de la zona superior y cielo del interior de la vivienda



Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	25,7°C
Análisis de línea	Valor
Línea 01 Max	28,2°C
Línea 01 Min	27,0°C
Línea 02 Max	22,2°C
Línea 02 Min	21,0°C
Análisis de Área	Valor
Área 01 Max	29,6°C
Área 01 Min	24,3°C

Figura 5-50 Imagen térmica sobre una de las ventanas de la vivienda



Parámetros	Valor
Emisividad	0,96
Análisis de Punto	Valor
Punto 01	27,5°C
Punto 02	27,2°C
Punto 03	26,7°C
Análisis de línea	Valor
Línea 01 Max	27,2°C
Línea 01 Min	26,4°C
Línea 02 Max	27,1°C
Línea 02 Min	26,3°C
Análisis de Área	Valor
Área 01 Max	24,1°C
Área 01 Min	23,5°C

En general se observan superficies interiores a elevada temperatura, existiendo zonas con menores temperaturas, en comparación al resto, pero que también se consideran como zonas calientes. Esto confirma la adecuada aislación térmica de la vivienda.

# **Dormitorios**

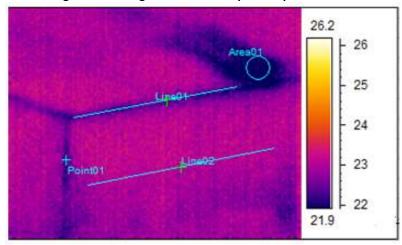
En las siguientes imágenes se muestran los dormitorios de la vivienda.

Figura 5-51 Dormitorios vivienda N°3



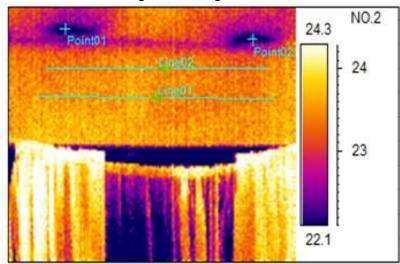


Figura 5-52 Imagen térmica de la parte superior de uno de los dormitorios de la vivienda



Parámetros	Valor		
Emisividad	0,96		
Análisis de Punto	Valor		
Punto 01	22,0°C		
Análisis de línea	Valor		
Línea 01 Max	22,7°C		
Línea 01 Min	21,3°C		
Línea 02 Max	26,1°C		
Línea 02 Min	24,3°C		
Análisis de Área	Valor		
Área 01 Max	22,1°C		
Área 01 Min	18,5°C		
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			

Figura 5-53 Imagen térmica sobre la ventana del dormitorio



Parámetros	Valor		
Emisividad	0,96		
Análisis de Punto	Valor		
Punto 01	22,0°C		
Punto 02	22,1°C		
Análisis de línea	Valor		
Análisis de línea Línea 01 Max	Valor 24,0°C		
Línea 01 Max	24,0°C		

Nuevamente se observan superficies interiores calientes, aún cuando hay puntos con menores temperaturas pero que siguen teniendo una elevada temperatura, lo cual vuelve a ratificar la correcta aislación térmica de la vivienda.

#### 5.3.4 Hábitos de uso.

En la vivienda N°3 el calefactor en temporada de otoño e invierno se enciende desde las 6:00 hrs hasta las 02:00 hrs, aproximadamente. En primavera su uso general va entre las 06:00 hrs hasta las 00:00 hrs, dependiendo de las condiciones ambientales externas, mientras que en verano se suele usar desde las 06:00 hrs con intermitencia de encendido y apagado dependiendo de la temperatura exterior.

Esta vivienda es habitada por la dueña de casa y 2 adultos más (hija y su marido).

Del calefactor a leña que se encuentra instalado en esta vivienda no se tiene mayor información debido a que no cuenta con su placa con información técnica dada su antigüedad.

### 6. Resultados y Análisis de Datos

### 6.1 Temperatura y Humedad

A continuación se muestran las temperaturas registradas antes y después del recambio en cada vivienda. Por simplicidad estas se muestran graficadas como promedios diarios y presentadas en tabla como promedio durante todo el período de medición, antes y después del recambio.

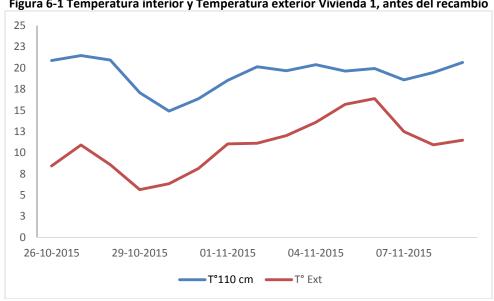
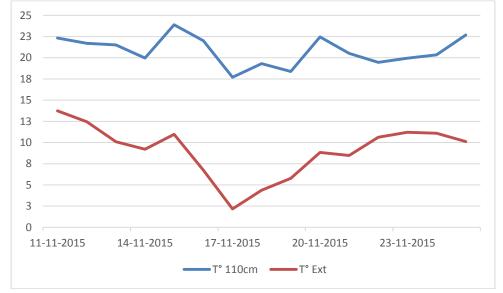


Figura 6-1 Temperatura interior y Temperatura exterior Vivienda 1, antes del recambio

Figura 6-2 Temperatura interior y Temperatura exterior Vivienda 1, después del recambio



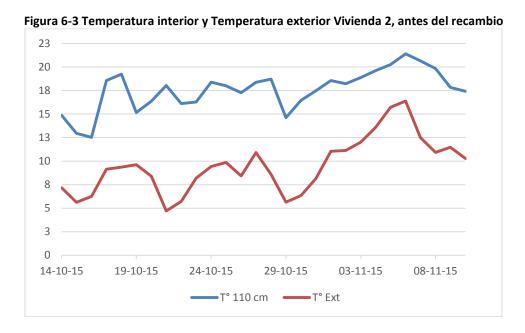
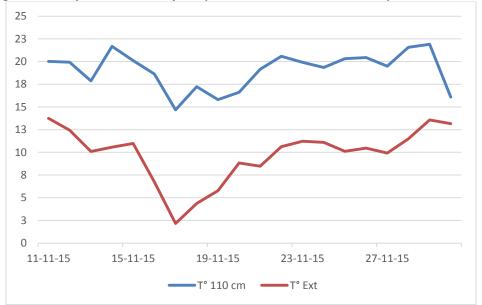


Figura 6-4 Temperatura interior y Temperatura exterior Vivienda 2, después del recambio



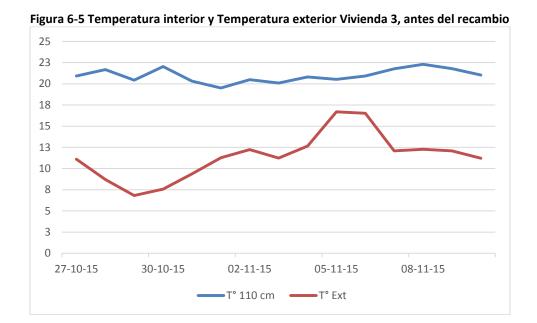


Figura 6-6 Temperatura interior y Temperatura exterior Vivienda 3, después del recambio

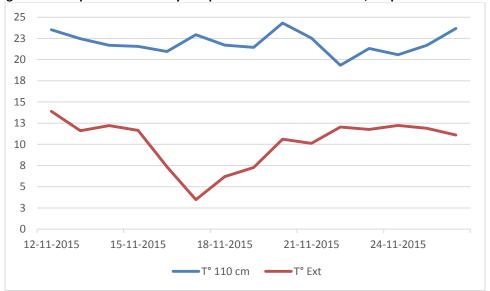


Tabla 7 Temperaturas promedio interiores y exteriores, exante y expost recambio

Temperatura °C	Casa 1		ratura °C Casa 1 Casa 2		Casa 3	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Interior	19,2	20,8	17,6	19,1	21,0	22,0
Exterior	10,9	9,1	9,5	9,8	10,5	10,2

Los resultados anteriores indican que las tres casas registraron una temperatura promedio interior mayor luego del recambio. En cuanto a la temperatura ambiental externa promedio durante los periodos de medición, los resultados indican que para el caso de la

vivienda 2 esta aumentó, mientras que para las otras dos casas la temperatura promedio disminuyó.

Para el caso de la humedad, esta se presenta como la diferencia entre la humedad absoluta interior y exterior de la vivienda, ya que la humedad en términos relativos es dependiente de la temperatura.

La humedad absoluta (W) se calcula según las siguientes fórmulas:

$$W = 0.622 \cdot \frac{p_v}{p - p_v}$$

$$p_v = \emptyset \cdot p_s(T)$$

$$\ln(p_s(T)) = \frac{-5,80 \cdot 10^3}{T} + 1,39 - 4,86 \cdot 10^{-2} \cdot T + 4,17 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 1,44 \cdot 10^{-8} \cdot T^3 + 6,54 \cdot \ln(T)$$

Donde,

W = Humedad absoluta, en kg de agua por kg de aire seco

 $p_v = \text{Presi\'on parcial de vapor de agua para una humedad relativa} \emptyset$  y temperatura T

p =Presión atmosférica

 $p_s(T)$  = Presión de saturación del agua a temperatura T

T = Temperatura en K

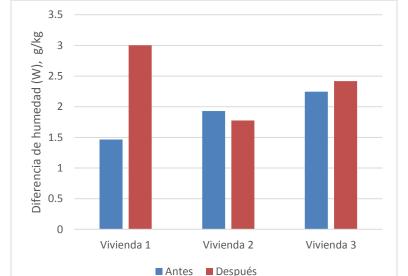


Figura 6-7 Gráfico de Diferencia de humedad absoluta entre el interior y el exterior

Como se observa, el interior de la vivienda está más húmedo que el exterior, lo cual es esperable debido a la presencia de personas en el interior y a las actividades propias de una casa (cocinar, secar ropa, entre otras) y esta situación se mantiene luego de

recambiar el artefacto de calefacción. No es esperable que el cambio de estufa afecte directamente la humedad dentro de la vivienda, ya que al tener ducto de evacuación de gases el vapor generado durante la combustión no se descarga dentro de las viviendas. Un cambio en la humedad absoluta dentro de las casas, antes y después del recambio, tendría que ver con algún cambio en la cantidad de personas que estuvo dentro de la casa o con el tipo de actividades cotidianas que se llevaron a cabo durante ambos periodos.

#### 6.2 Confort Térmico

Para evaluar el confort térmico producido por el artefacto de calefacción, antes y después del recambio, se utiliza como primer indicador las diferencias verticales de temperatura del aire generadas por cada calefactor. Esta diferencia permite determinar el grado de satisfacción producido mediante la relación dada por el siguiente gráfico (ASHRAE, 2005).

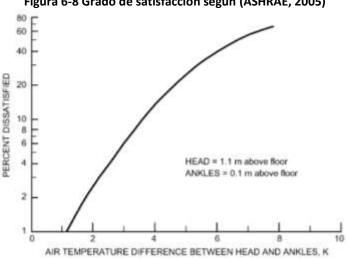


Figura 6-8 Grado de satisfacción según (ASHRAE, 2005)

La relación anterior establece que a mayor diferencia de temperatura entre un punto ubicado a 1,1 m y otro a 0,1 m sobre el suelo, mayor es el porcentaje de personas que dirían sentirse no confortables térmicamente. Utilizando los resultados de los sensores de temperatura y humedad instalados a estas distancias, se comparara el desempeño de cada calefactor según este indicador. Los resultados se pueden ver a continuación.

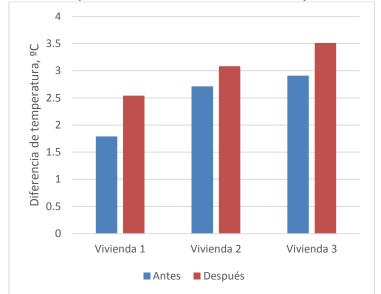


Figura 6-9 Diferencia de temperatura entre el sensor ubicado a 1,1m y el ubicado a 0,1m del suelo

Como se observa en los resultados anteriores, tanto antes como después del recambio el sensor ubicado a 1,1m del suelo tiene mayor temperatura que el que está a 0,1m, y esta diferencia aumenta cuando se recambia el artefacto. Esto se debe a que las viviendas alcanzan una mayor temperatura interior luego del recambio, lo cual favorece la estratificación de aire a los puntos altos de las casas. Sin embargo, las diferencias de temperatura entre estos dos sensores son menores a 3,5° en todos los casos con los cual según la figura de Grado de satisfacción de agrado de ASHRAE, menos de un 10% de la población diría sentir condiciones de desagrado frente a esta situación.

Un segundo análisis de confort térmico, se realiza mediante la "Escala de Sensación Térmica de ASHRAE". Para esto se calcula un indicador de sensación térmica (Y) en base a la temperatura (T) y a la presión de vapor (P) asociada a la humedad del aire interior, y el resultado se interpreta como: "Caluroso" si el resultado da un máximo de +3 o "Frío" si resulta ser -3. Los resultados intermedios se establecen según la siguiente escala (ASHRAE, 2005):

- +3 Caluroso
- +2 Tibio
- +1 Levemente tibio
- 0 Neutro
- -1 Levemente fresco
- -2 Fresco
- -3 Frío

El parámetro Y se calcula mediante la siguiente ecuación:

# Ecuación 1 Indicador de sensación térmica $Y = 0.245 \cdot T + 0.248 \cdot P - 6.475$

A continuación se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 8 Indicador de sensación térmica (Y) antes y después del recambio

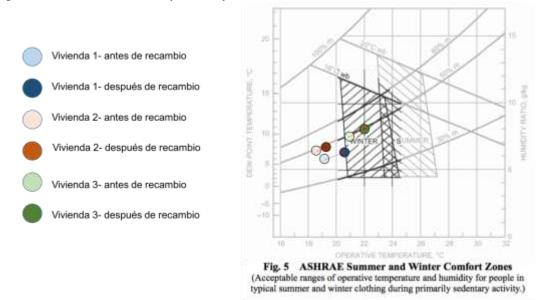
Sensación	Casa 1		Casa 1 Casa 2		Casa 3	
Térmica	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Υ	-1,5	-1,1	-1,7	-2,0	-1,9	-1,4

De los resultados anteriores se ve que en las casas 1 y 3 el indicador de sensación térmica aumenta, acercándose más a la condición de neutralidad, aun cuando en ambos casos el indicador se encuentra entre "Fresco" y "Levemente Fresco". En la vivienda 2 el efecto del recambio es contrario, acercándose a la condición de "Fresco". Cabe mencionar que este parámetro relaciona la temperatura con la humedad, con lo cual un cambio en su valor no solo se explica por un cambio en la temperatura. De hecho la casa 2 aumenta su temperatura promedio 0,3°, antes y después del recambio, pero su diferencia de humedad con el exterior disminuye, con lo cual es esperable que su indicador de sensación disminuya. En terreno se pudo apreciar que la residente de esta vivienda tendía a ventilar su casa de forma permanente y reiterada, con los cual los resultados para este punto podrían tener una mayor influencia por los hábitos de uso que en las otras casas.

La tercera evaluación del confort térmico se realiza a partir de las "zonas de confort térmico en invierno y verano de ASHRAE" en el diagrama psicométrico. Se demarca un zona en la cual el 80% de las personas que realizan nula o mínima actividad física encuentran el ambiente térmicamente aceptable (ASHRAE, 2005).

A partir de las mediciones realizadas en las 3 viviendas, antes y después del recambio, se calcularon promedios de temperatura y humedad absoluta y se ubicaron los puntos correspondientes en el diagrama con el fin de verificar su posición relativa respecto a la zona de confort en invierno.

Figura 6-10 Condiciones de temperatura y humedad absoluta asociadas a las zonas de confort térmico



En la figura se aprecia que las condiciones en las viviendas 1 y 2 no se encontraban dentro de la zona de confort antes del recambio, mientras que en la vivienda 3, las condiciones sí estaban dentro de la zona de confort, pero en un borde. Luego del recambio las condiciones de la vivienda 1 se localizan en la zona de confort, para la vivienda 2 sigue fuera, pero ahora más cerca, y para la vivienda 3 ahora está al centro de la zona. En resumen, todas las viviendas mejoraron su confort térmico según este enfoque.

## 6.3 Eficiencia de calefacción

Para el caso del análisis de la eficiencia de cada artefacto y su respectivo consumo de leña, es importante destacar lo siguiente: el concepto de eficiencia energética típicamente utilizado en equipos de conversión de energía dice relación con el porcentaje de la energía consumida que efectivamente se transforma en energía útil. Sin embargo, para el caso de calefacción este concepto no es suficiente, ya que aun cuando toda la energía consumida se transformara en calor, si éste se acumula en las partes altas de la vivienda no cumpliría el objetivo de hacer que las personas "no sientan frío". Por lo tanto, no se estimará la eficiencia energética de cada artefacto, sino la eficiencia relativa entre ambos calefactores, según la siguiente deducción.

En palabras sencillas, la energía entregada por cada calefactor se utiliza para compensar las pérdidas de energía generadas, a través de la envolvente térmica (muros, piso y techo) y de las infiltraciones de aire, debido a que el interior se encuentra a una mayor temperatura que el exterior. Dichas pérdidas se pueden calcular de la siguiente forma:

$$\dot{Q}_{p\acute{e}rdidas} = A \cdot U \cdot (T_i - T_e) + \dot{m}_{inf} \cdot C_p \cdot (T_i - T_e) = \text{Cte} \cdot (T_i - T_e)$$

Donde  $A\cdot U$  representa las pérdidas a través de la envolvente de la vivienda y  $\dot{m}_{inf}\cdot \mathcal{C}_p$  las generadas por las infiltraciones de aire, ambas por cada grado de diferencia de temperatura entre el interior y el exterior. Considerando que las viviendas no sufrirán modificaciones antes y después del recambio, entonces las pérdidas serán una constante multiplicada por el diferencial de temperatura.

Por su parte, la energía entregada por el calefactor corresponde a la energía consumida,  $\dot{Q}_{cons}$ , multiplicada por la eficiencia de calefacción,  $\eta$ , y su valor debe ser igual a las pérdidas. De esta forma se puede relacionar la eficiencia de calefacción con el consumo de energía y las diferencias de temperatura entre el interior y el exterior de cada vivienda, según la siguiente expresión.

$$\dot{Q}_{p\acute{e}rdidas} = \dot{Q}_{cons} \cdot \eta = \text{Cte} \cdot (T_i - T_e) \rightarrow \eta = \text{Cte} \cdot \frac{(T_i - T_e)}{\dot{Q}_{cons}}$$

Finalmente, se puede calcular el cociente entre las eficiencias después y antes del recambio de la siguiente forma.

### Ecuación 2 Eficiencia energética relativa

$$\frac{\eta_{despu\acute{e}s}}{\eta_{antes}} = \frac{\frac{\dot{Q}_{consumido}}{(T_i - T_e)}\Big|_{antes}}{\frac{\dot{Q}_{consumido}}{(T_i - T_e)}\Big|_{despu\acute{e}s}}$$

Donde, si la expresión anterior resulta un número mayor a 1, significa que el proceso de calefacción se volvió más eficiencia al recambiar el calefactor.

Una ventaja importante a destacar de este cálculo es que la cantidad de energía consumida, antes y después del recambio, se puede expresar en términos de la masa de leña utilizada, corregida por el diferencial de temperatura entre el interior y el exterior de la vivienda. Esto permite incorporar dentro del cálculo tanto las eventuales diferencias en las condiciones ambientales externas (dado que las mediciones antes y después del recambio se realizarán en períodos de tiempo diferentes) y como también el hecho que las familias temperen sus viviendas a distintas temperaturas antes y después del recambio.

Como las temperaturas cambian en el tiempo, para la corrección se utiliza la diferencia de temperatura acumulada entre el interior y el exterior, para los dos períodos según la siguiente fórmula:

### Ecuación 3 Diferencia de temperatura acumulada entre interior y exterior

$$\Delta T_{acumulado} = \sum_{j=1}^{j=n} \sum_{i=0}^{i=23} F \cdot (T_{int,i} - T_{ext,i})$$

Donde,

 $F = 0 \text{ si } T_{int,i} \le 18,3^{\circ}C$   $F = 1 \text{ si } T_{int,i} > 18,3^{\circ}C$  i = hora j = dían = días de consumo

En la siguiente tabla se muestra el consumo de leña para cada casa, la cantidad de días medidos y la diferencia de temperatura acumulada. En la misma tabla se presenta el cociente entre el consumo y la diferencia de temperatura acumula, tanto antes como después del recambio.

Tabla 9 Consumo de leña, cantidad de días medidos y diferencia de temperatura acumulada

Variable	Cas	a 1	Cas	a 2	Casa 3	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Fechas	22 oct -	09 nov -	13 oct -	10 nov -	27 oct -	11 nov -
	09 nov	29 nov	10 nov	30 nov	11 nov	27 nov
Días	19	20	28	20	15	16
Consumo total (kg)	140,36	224,92	304,47	310,46	490,62	353,27
Grados Horas	2416	4483	2924	3172	2481	3616
Consumo/Grados Hora	0,0581	0,0502	0,1041	0,0979	0,1977	0,0977
Eficiencia después/antes	1,:	16	1,	06	2,	02
Aumento Eficiencia	13	3,7	6,	,0	50	),6

Para una mejor comprensión de los resultados, también se calculan los grados horas interiores de cada casa tanto antes como después del recambio. El concepto grado hora permite cuantificar "cuánto se calentó" una vivienda, por sobre una temperatura de referencia (18,3°C según establece ASHRAE), durante todo el período de medición. La expresión para los grados horas interiores corresponde a la siguiente fórmula:

#### Ecuación 4 Cálculo de Grados hora interiores

Grados Hora Interiores = 
$$\sum_{i=1}^{j=n} \sum_{i=0}^{i=23} (T_{int,i} - T_{ref})$$

Mediante este parámetro se puede analizar cualitativamente si un eventual aumento en el consumo podría estar asociado a un aumento en los grados hora interiores. En otras palabras, un mayor consumo podría explicarse por un mayor calentamiento de la vivienda.

Análogamente, un mayor consumo de leña también podría estar asociado a una menor temperatura ambiental externa. Para esto se calculan los grados hora exteriores mediante la siguiente fórmula:

#### Ecuación 5 Cálculo de Grados hora exteriores

Grados Hora Exteriores = 
$$\sum_{j=1}^{J=n} \sum_{i=0}^{l=23} (T_{ref} - T_{ext,i})$$

Si se suman ambos parámetros para todas las horas en particular que la temperatura interior fue mayor a 18,3°C, entonces se obtiene la diferencia de temperatura acumulada.

En la siguiente tabla se presentan los grados hora interiores y exteriores durante todo el período de medición.

Tabla 10 Grados hora interiores y exteriores durante todo el período de medición

rabia 20 Grados nota interiores y exteriores darante todo el período de interior						
Variable	Casa 1		Casa 2		Casa 3	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Grados Hora Int.	949	1.428	1.038	1.028	1.080	1.544
Totales						
Grados Hora Int.	49,9	71,4	37,1	51,4	72,0	96,5
Prom. Diario						
Grados Hora Ext.	1.467	3.056	1.886	2.144	1.401	2.072
Totales						
Grados Hora Ext.	77,2	152	67,4	107	93,4	130
Prom. Diario						

De los resultados anteriores se puede ver que en las 3 casas después del recambio los grados hora interiores fueron mayores, lo que se puede explicar tanto porque las temperaturas interiores fueron mayores o porque mantuvieron el artefacto encendido mayor cantidad de tiempo. En cuanto a los grados horas exteriores se observa que después del recambio en las 3 viviendas fueron mayores lo cual indica que el ambiente exterior tuvo menores temperaturas que antes del recambio o que las temperaturas bajas duraron mayor tiempo. Independiente cual sea el caso, lo anterior se tradujo en las casas 1 y 2 en un aumento de consumo de leña, pero en una disminución en la casa 3. Para las dos primeras este aumento de consumo fue menor que lo esperado si es que la eficiencia de calefacción se hubiera mantenido constante, por lo tanto, se concluye que la eficiencia de calefacción aumentó en ambas. Para el caso de la casa 3, su disminución en el consumo de leña, aun cuando la vivienda se calefaccionó más estando más frío el exterior, se

explica por un mayor aumento en la eficiencia de calefacción que en las otras dos viviendas.

## 6.4 Contaminantes intradomiciliarios

#### 6.4.1 Monóxido de Carbono

En la siguiente tabla se muestran las concentraciones promedio de CO dentro de las viviendas antes y después del recambio.

Tabla 11 Promedio de CO dentro de las viviendas antes y después del recambio

Promedio CO (ppm)	Casa 1	Casa 2	Casa 3
Antes	0,1	0,0	0,4
Después	0,1	0,0	0,2

Como se observa en los resultados anteriores, tanto con el calefactor original como con el recambiado la concentración de CO en el interior de las casas es prácticamente nulo y, por ende, siempre inferior al valor referencial para espacios cerrados de 40 ppm (Decreto Supremo 594 del Ministerio de Salud). Por lo tanto, la condición original era la nula presencia de CO, condición que se mantiene luego de recambiar el artefacto.

#### 6.4.2 Material Particulado

El instrumento Dylos1700 entrega el número de partículas para tamaños mayores a 0,5  $\mu m$  y mayor a 2,5  $\mu m$ . Se considera la resta entre estos dos valores para así obtener el número de partículas entre 0,5  $\mu m$  y 2,5  $\mu m$ . La concentración de partículas de tamaño menor o igual a 2,5 (MP2,5) se estimó a partir del número de particulas usando la fórmula desarrollada en (Klepeis, et. al., 2013):

$$C = 0.0072n - 0.8819$$

Donde,

 $C = \text{concentración de MP2,5 } [\mu g/m^3]$ 

 $n = \text{número de partículas de tamaño mayor a 0,5 y menor a 2,5 } \mu \text{ [número/0,01ft}^3]$ 

De esta manera se obtuvo la concentración horaria dentro de la Vivienda 3.

El análisis completo de las concentraciones intramuros de Material Particulado se desarrolla en la Sección 8: Evaluación Impactos en Salud.

## 7. Evaluación Económica: ahorro en consumo de leña

La evaluación económica del ahorro de leña se realiza comparando la situación exante y la situación expost del recambio de calefactor en cada casa. Para determinar este ahorro se siguió el siguiente método:

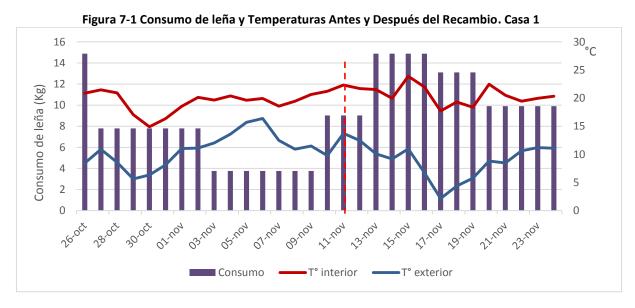
- Se determinó el consumo unitario de leña para cada casa y la diferencia de temperatura interior y exterior de cada casa para cada periodo en que se midió el consumo de leña
- 2. A partir de estos datos, se encontró una relación entre la diferencia de temperatura interna y externa para cada periodo y el consumo de leña para ese periodo (periodos con y sin recambio).
- 3. Usando la relación encontrada, y una temperatura interior meta de 20ºC, se calculó el consumo de leña para una situación con el calefactor antiguo y para la situación con el calefactor nuevo.
- 4. El ahorro de leña se calculó como la diferencia de ambas situaciones.

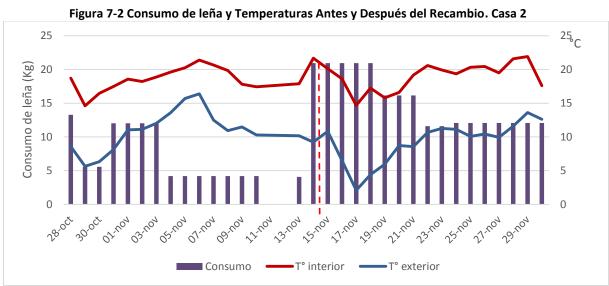
Tabla 12 Consumo de leña por casa y Diferencia de temperatura interna-externa Exante y Expost

Casa	Periodo	hasta	calefactor	Consumo leña	Consumo	Temp.	Temp.	Diferencia
Cusu	desde	nasta	carciactor	del periodo	unitario de	Externa	Interna	temp
				(kg)	leña (kg/día)	Media (°C)	Media (°C)	media (°C)
C1	13-10	21-10	Original	98,3	12,3		18,38	
	21-10	22-10	Original	14,6	14,6		18,09	
	22-10	26-10	Original	59,56	14,9	8,44	19,81	12,44
	26-10	2-11	Original	54,48	7,8	8,83	18,49	9,66
	2-11	9-11	Original	26,32	3,8	13,23	19,76	6,53
	9-11	12-11	Nuevo	27,08	9,0	11,99	21,76	8,92
	12-11	16-11	Nuevo	59,5	14,9	9,63	21,85	13,21
	16-11	19-11	Nuevo	39,34	13,1	4,11	18,47	14,36
	19-11	29-11	Nuevo	99	9,9	10,12	20,55	10,59
C2	13-10	20-10	Original	109,5	13,7		16,17	
	20-10	28-10	Original	106,24	13,3	9,03	17,64	8,79
	28-10	30-10	Original	11,15	5,6	5,99	15,54	9,55
	30-10	3-11	Original	48,1	12,0	10,58	18,28	7,69
	3-11	10-11	Original	65,85	9,4	12,98	19,57	6,50
	10-11	13-11	Nuevo	12,26	4,1	12,12	19,28	7,16
	13-11	18-11	Nuevo	104,65	20,9	6,93	18,46	11,69
	18-11	21-11	Nuevo	48,45	16,2	7,75	17,19	9,44
	21-11	23-11	Nuevo	24,21	12,1	10,97	20,26	9,29
	23-11	30-11	Nuevo	84,52	12,1	11,13	20,12	9,38
С3	14-10	23-10	Original	250,35	22,8		21,25	
	23-10	27-10	Original	76,1	19,0	10,68	20,83	9,55
	27-10	31-10	Original	173,5	43,4	8,58	21,11	12,54
	31-10	4-11	Original	136,16	34,0	11,96	20,22	8,26
	4-11	6-11	Original	46,1	23,1	16,43	20,91	4,48
	6-11	7-11	Original	12,15	12,2	12,88	21,77	8,89
	7-11	11-11	Original	122,71	30,7	13,27	21,33	9,55
	11-11	20-11	Nuevo	191,35	21,3	9,74	22,29	12,55
	20-11	27-11	Nuevo	161,92	23,1	11,77	21,60	9,65

# 7.1 Consumo de leña y diferencia de temperatura en cada vivienda para cada periodo de medición.

A continuación se muestran los hábitos de uso de calefactor a leña de las tres viviendas, considerando un plazo aproximado de comparación de 15 días antes del recambio y 15 días después.





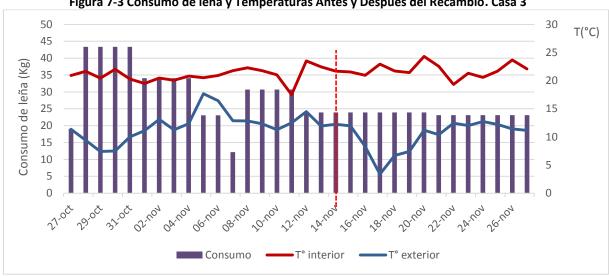


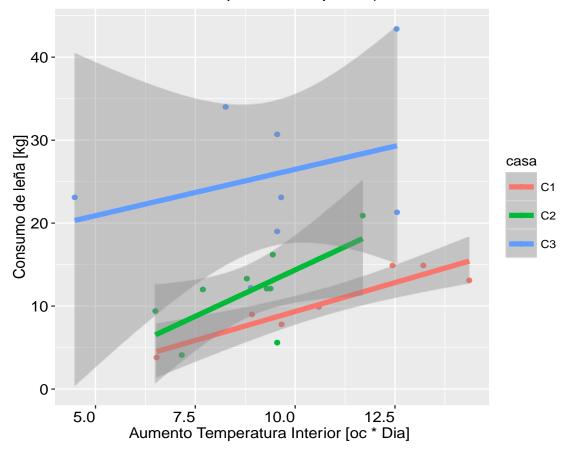
Figura 7-3 Consumo de leña y Temperaturas Antes y Después del Recambio. Casa 3

## 7.2 Relación entre la diferencia de temperatura interna y externa

Usando los datos de consumo y diferencia de temperatura se encontró una relación estadística entre ambos.

La siguiente figura muestra la relación entre el consumo unitario de leña (en kg/día) y el aumento de temperatura (diferencia entre temperatura interna y externa) para cada casa. Se puede ver que existe una relación monotónica entre estas dos variables, pero que varían notablemente entre las tres casas.

Figura 7-4 Consumo unitario de leña (en kg/día) en función del aumento de temperatura (diferencia entre temperatura interna y externa)



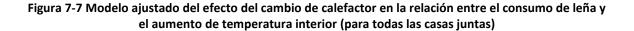
Lo interesante es estimar el efecto del cambio de calefactor. La siguiente figura muestra la relación del gráfico anterior para la situación exante y expost. Como se ve, la cantidad de datos no permite estimar en forma separada el efecto del calefactor para cada casa.

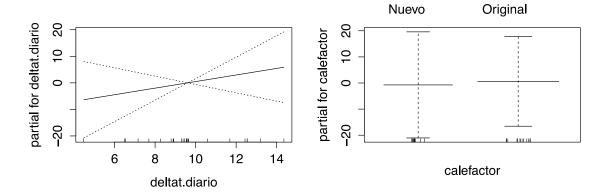
Figura 7-5 Consumo diario de leña vs el aumento de temperatura para cada casa 30 40 consumo.diario consumo.diario consumo.diario calefactor calefactor calefactor Nuevo Nuevo Original Original 0 -9 10 10 12 deltat.diario deltat.diario deltat.diario

Figura 7-6 Consumo de leña vs diferencia de temperatura para la situación original y nueva (después del recambio de calefactor) y relación lineal para ambos casos.

## 7.2.1 Modelo estadístico lineal para consumo de leña

Los datos no permiten diferenciar por casa. Se ajustó un modelo que considera los datos de todas las casas juntas, y considera el efecto del cambio de calefactor en la relación entre el consumo de leña y el aumento de temperatura interior. El modelo ajustado es el siguiente:





## Código:

```
Call:
lm(formula = consumo.diario ~ deltat.diario * calefactor, data = consumo.lena)
Residuals:
          1Q Median
                          30
  Min
                                 Max
-13.313 -5.644 -2.911 4.769 19.357
Coefficients:
                               Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
                                         15.0958 0.078
1.4025 0.882
(Intercept)
                                 1.1810
deltat.diario
                                 1.2363
                                                             0.389
                                          18.7405 0.072
                                 1.3485
                                                            0.943
calefactorOriginal
deltat.diario:calefactorOriginal 0.4793
                                           1.8625 0.257
                                                           0.800
Residual standard error: 9.516 on 20 degrees of freedom
 (4 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared: 0.1486, Adjusted R-squared: 0.0209
F-statistic: 1.164 on 3 and 20 DF, p-value: 0.3483
```

Este modelo indica que el estatus del calefactor tiene dos efectos:

- 3. El calefactor antiguo requiere (en promedio) 1,34 [kg/día] de leña *adicional al calefactor nuevo* (o bien, el calefactor nuevo ahorra 1,34 [kg/día] de leña).
- 4. El calefactor antiguo requiere (en promedio) 0,48 [kg/día] de leña para aumentar la temperatura interior en 1 grado Celsius *adicional al calefactor nuevo*.

En promedio, entonces, el calefactor nuevo requiere 1,34 + 0,48 \* 9,5 = 5,9 [kg/día] adicionales para lograr el aumento de temperatura promedio de 9,5 °C.

# 7.3 Proyección del consumo de leña para una situación con el calefactor antiguo y para la situación con el calefactor nuevo.

A partir de la relación anterior se estimó el consumo de leña para un año completo. Se usaron los datos de temperatura para Coyhaique en 2015, que se presentan en la siguiente figura:

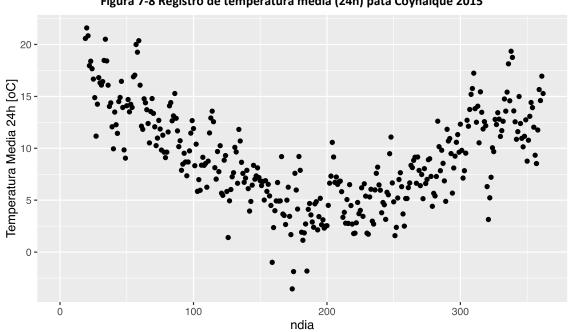


Figura 7-8 Registro de temperatura media (24h) pata Coyhaique 2015

El requerimiento de leña se calculó asumiendo una temperatura interna meta de 20 °C, con lo que se calculó el aumento de temperatura requerido hora por hora, a partir del cual se calcula el requerimiento de leña.

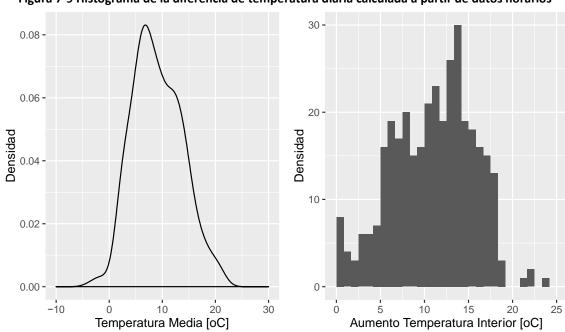


Figura 7-9 Histograma de la diferencia de temperatura diaria calculada a partir de datos horarios

aditivo (derecha)

0.06

Calefactor
Original
Nuevo

0.02

Original
Nuevo

Original
Nuevo

Figura 7-10 Predicción de consumo diario de leña usando dos modelos estadísticos: lineal (izquierda) y aditivo (derecha)

## 7.3.1 Ahorro de leña

consumo

0.00 -

La siguiente tabla muestra el consumo estimado de leña para una casa promedio, en situación original y con nuevo calefactor, estimado para cada mes con datos de 2015 a partir del modelo lineal

0.00 -

25

50

consumo

Tabla 13 Consumo estimado de leña para una casa promedio, en situación original y con nuevo calefactor

Mes del año 2015	Consumo de leña [kg]		Ahorro	%
	Original	Nuevo	kg. Leña	%
3	488	332	156	32%
4	631	435	195	31%
5	761	529	233	31%
6	874	611	264	30%
7	908	635	274	30%
8	908	634	274	30%
9	777	541	236	30%
10	685	474	211	31%
11	488	332	156	32%
total	6.520	4.522	1.998	30,6%

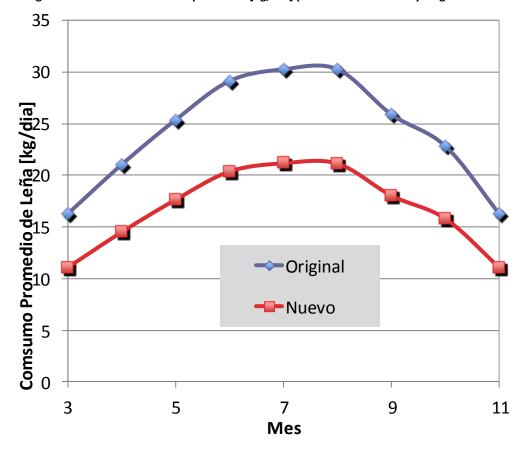


Figura 7-11 Consumo de leña promedio [kg/día] para situación nueva y original. Casa Promedio

El ahorro total, considerando el registro de temperatura de 2015 para una casa promedio es de casi 2.000 kilos de leña al año, o sea representa un 30% de ahorro.

#### Calificaciones del resultado

- 1. El ahorro se calculó asumiendo una temperatura interior de 20 °C. Con los calefactores antiguos esa temperatura no se logra en los meses de invierno, por lo que parte del ahorro no se observará (ya que no se puede lograr esa temperatura).
- 2. Pero en ese caso se producirá un aumento de temperatura interior de la casa, lo que se traduce en un ausento de bienestar. Se puede asumir que la cota mínima de ese aumento de bienestar es el ahorro en leña, ya que actualmente esa temperatura no se alcanza por restricciones técnicas (el calefactor no es capaz de proveer el calor suficiente para calentar la casa a 20 °C).

## 7.4 Valor Actual Neto del ahorro de leña

Para calcular el VAN del proyecto "sumarse al Programa de Recambio del Ministerio de Medio Ambiente", se considera la inversión en un equipo nuevo pagando solo el Copago, y el consumo de leña de cada casa en un periodo de tiempo razonable a la vida útil del

artefacto, esto se compara con la situación base de no hacer ninguna modificación según la siguiente ecuación:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{(GastoLe\|a_{Antes} - GastoLe\|a_{Despu\'es})_t}{(1+r)^t}$$

Donde,

 $GastoLe\~na_{Antes}$  = Es el costo de le\~na anual antes del recambio (CLP/a\~no o UF/a\~no)  $GastoLe\~na_{Despu\'es}$  = Es el costo de le\~na anual después del recambio (CLP/a\~no o UF/a\~no) n = Es el número de períodos considerados, 20 años para este caso.

r = Es la tasa de descuento = 6%.

 $I_0$ = Es la inversión inicial

Esto se compara con la situación de los no participantes del programa, quienes deben cancelar el costo total. El detalle de los costos asociados a la Estufa de recambio e instalación, en los diferentes escenarios se describen en la siguiente tabla:

Tabla 14 Costos asociados a inversión inicial de recambio calefactor

Calefactor y kit instalación (sin IVA¹)	Costo de Inversión real <sup>2</sup>	Copago del Programa	Costo Total
Estufa Nordic 380, Amesti	\$ 180.000	\$ 30.000	\$ 210.000
Instalación	\$ 25.210	\$ 0	\$ 25.210
Kit Instalación	\$ 99.908	\$ 0	\$ 99.908
Traslado y otros costos unitarios Recambio	\$ 153.114	\$ 0	\$ 153.114
Inversión Inicial	\$ 458.233	\$30.000	\$ 488.233

Para la evaluación económica se usó un precio de referencia de la leña, usando un precio bajo de 30.000 \$/m3 y un precio alto de 60.000 \$/m3. Considerando una densidad de la leña de 500 kg/m3 sólido, y un factor estereométrico de 0.68 m3 solido/m3 esteoreiometrico, esto es equivalente a un costo de entre 88 y 176 \$/kg.

Se registraron los pesos de los sacos de leña al momento de su entrega, y los saldos que iban quedando en cada visita. Para estimar los gastos asociado al consumo de leña de cada casa, se usan las bitácoras de consumo en Anexo 3: Formulario de registro de consumo de leña y Formulario de registro de humedad de leña en uso.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Se consideran valores netos sin IVA, ya que el impuesto es una transferencia

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Información obtenida de la OFERTA ECONOMICA de Amesti "recambio de calefactores a leña certificados en viviendas de 18 localidades de la región de Aysén"

Tabla 15 Consumo y ahorro de laña anual

Consumo de leña	Calefactor Original	Calefactor Nuevo	Diferencia anual
kg/año	6.520	4.522	1.998
m3/año	19,2	13,3	5,9

Tabla 16 VAN de someterse al Programa de Recambio, escenarios de precio alto y bajo de leña

Costo Anual de Leña (\$/año)	Calefactor Original	Calefactor Nuevo	Diferencia anual (\$)	Valor Presente (6%, 20 años)
Precio = 88 \$/kg	573.760	397.936	175.824	\$2.016.687
Precio = 176 \$/kg	1.147.520	795.872	351.648	\$4.033.374

De la Tabla 16 se desprende que para todas las Viviendas es conveniente sumarse al Programa de Recambio, pues su Valor Actual Neto es positivo. Además, es evidente que la inversión del Copago se recupera en un año, ya que el ahorro anual de leña es mayor a \$30.000 en todas las casas.

Si las viviendas no se someten al Programa de Recambio, el VAN será menor debido a que la inversión inicial sería de \$488.233 en vez de los \$30.000 del copago. Si bien la inversión no se recuperaría sino hasta el 3er año en un escenario de precio bajo y en dos años en un escenario de precios altos, de todas maneras es conveniente el recambio para estas familias.

## 8. Evaluación Impactos en Salud

Además de un análisis económico básico, el equipo realiza un análisis del impacto a la salud de la población e introduce la valoración de estos impactos en el análisis económico.

El recambio del calefactor en un hogar resulta en varios efectos. Los principales son:

- 1. Aumento de la generación de calor hacia el interior de la vivienda, debido a la mayor eficiencia del nuevo equipo.
- 2. Reducción de las emisiones de contaminantes, tanto hacia el exterior (a través del cañón) como hacia el interior de la vivienda.

En este capítulo abordamos la reducción de los impactos negativos en la salud de los habitantes de la vivienda debido a la menor concentración intramuros de contaminantes. No se considera el impacto que las menores emisiones hacia el exterior producen en las concentraciones ambientales de contaminantes, ya que ellas deben ser estimadas a partir de los factores de emisión del equipo antiguo y nuevo.

El análisis se centra en las concentraciones de material particulado, que es el principal contaminante que daña la salud. El principal efecto en salud considerado es la reducción en el riesgo de muerte, que representa más del 90% de los impactos en salud monetizados (GreenLabUC, 2011). La metodología usada se basa en el método propuesto en (GreenLabUC, 2011) y que es la base utilizada por el ministerio del medio ambiental para realizar el Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) para Instrumentos de Gestión de Calidad del Aire. (MMA, 2013 3)

Este método estima los impactos y beneficios a partir del cambio en emisiones, que resulta en un cambio en concentraciones y en los consecuentes efectos en salud, tal como lo muestra la figura siguiente.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2013). Guía Metodológica Para la Elaboración de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) para Instrumentos de Gestión de Calidad del Aire.

Emisiones

Medidas de Reducción de Emisiones

Función Daño

Cambio en Emisiones

Exposición de receptores

Cambio en efectos

Beneficio Social

Análnis, Casto-Beneficio

Figura 8-1 Esquema del Marco Metodológico Propuesto

Fuente: GreenLabUC, 2011

En este caso particular, no se tiene el cambio en emisiones, sino que se midió directamente el cambio en concentraciones intramuros, por lo que el análisis se realiza a partir de las concentraciones medidas. Sin embargo, existe una complicación adicional: el cambio de calefactor no solo produce un cambio en emisiones, sino que también en la cantidad de calor generada, que resulta en una temperatura interior de las viviendas diferente. Los datos recolectados muestran que después del recambio de calefactores la temperatura interior de las viviendas muestra un aumento significativo. Este efecto debe ser considerado, ya que de otro modo la comparación no es válida.

Los impactos en salud, que son el objeto de este análisis, dependen de la concentración interior y de la concentración ambiental (exterior). La concentración interior depende de la concentración ambiental y de las emisiones al interior de la vivienda (no medidas), y de la tasa de recambio de aire (no modelada). La emisión interior depende del nivel de actividad del calefactor, que está determinado por su operación, que depende de la cantidad de calor requerida para satisfacer una cierta temperatura de confort (no observada), que se traduce en una temperatura interior (medida), que depende de las características de aislación de la vivienda (no modeladas). El nivel de actividad del calefactor se podría estimar a partir del consumo de combustible, pero la resolución temporal de estos datos es muy burda.

Entonces, el esquema de análisis calcula la reducción en la exposición a los contaminantes intramuros, pero controlando por la temperatura interior, que representa el nivel de actividad del calefactor.

El análisis se realiza a partir de relaciones estadísticas encontradas para las variables de interés, que fueron medidas con resolución horaria

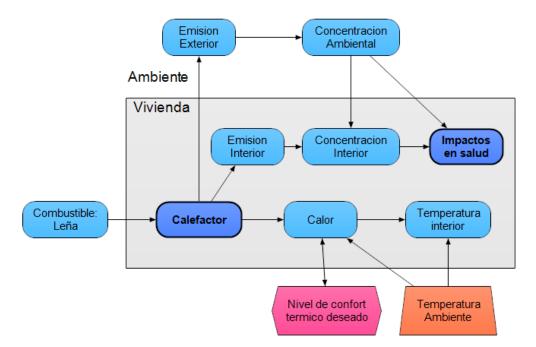


Figura 8-2 Modelo de análisis de las concentraciones interiores y los impactos en salud

Fuente: elaboración propia

## 8.1 Identificación de las relaciones entre las variables de interés

A continuación se presentan algunos gráficos que muestran la relación entre las principales variables. Se presentan los datos horarios, y una relación suavizada para la situación "antigua", es decir, antes del cambio de calefactor, y la situación nueva, posterior al cambio de calefactor. Esta presentación ayuda a identificar los posibles impactos debido al recambio.

Situacion
Arrigua
Nueve

25

0 5 10 15 20 25
Temperatura Exterior (°C)

Figura 8-3 Relación entre las concentraciones ambientales de MP2,5 y la temperatura exterior para Covhaique

Se aprecia que en el periodo previo al recambio las temperaturas fueron algo más bajas, pero el MP2.5 fue mayor en periodos de menor temperatura. Aunque la fecha de la intervención no tiene ningún efecto en esta relación, se debe tener en cuenta al momento de interpretar los resultados.

## 8.1.1 Temperatura Interior y Exterior

El objetivo de un calefactor es mantener una temperatura interior confortable. El análisis de las temperaturas, presentado en la siguiente figura muestra varios efectos relevantes:

- 1. Para ambas casas estudiadas: Vivienda 2 y Vivienda 3, la temperatura interior en la situación con calefactor nuevo es significativamente mayor que antes del cambio
- 2. La Casa 2 presenta una relación casi lineal entre la temperatura exterior e interior.
- 3. Para la Casa 3 esta relación ocurre solo para la situación Antigua, pero con la nueva, la tendencia, sobre todo para temperaturas bajas, se revierte completamente. Esto hace pensar que el calefactor original no era capaz de proveer el calor necesario para mantener una temperatura adecuada, cosa que el nuevo puede hacer.

Casa 1

Casa 1

Casa 3

Shadon 1

Shadon 2

Shadon 1

Shadon 2

Sh

Figura 8-4 Relación entre la temperatura interior y la exterior, para la casa 2 de Coyhaique (izquierda) y casa 3 de Puerto Aysén (derecha)

## 8.1.1 Relación entre la concentración intramuros y el aumento de temperatura interior

Es esperable que a mayor nivel de actividad del calefactor aumente la temperatura interior, y por lo tanto la diferencia entre ella y la temperatura exterior, y también la concentración intramuros de material articulado.

La figura muestra este efecto para el calefactor original y para el nuevo. La concentración interior no parece depender del aumento de temperatura.

El modelo estadístico de la Concentración intramuros en función del aumento de temperatura y la concentración ambiental arroja los siguientes resultados.

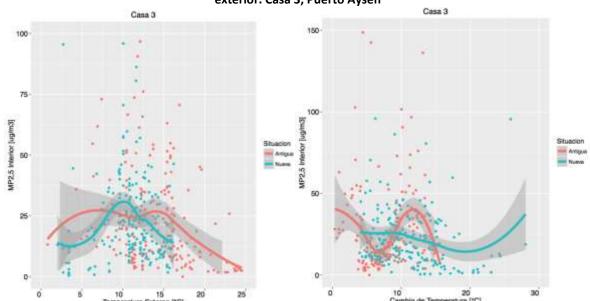


Figura 8-5 Concentración intramuros de PM2.5 en función de la diferencia de temperatura interior y exterior. Casa 3, Puerto Aysén

## 8.2 Estimación de la reducción de exposición intramuros e impactos en salud

La reducción de exposición intramuros y la reducción en efectos en la salud se estimó usando la relación estadística entre la concentración intramuros y la concentración ambiental exterior y la temperatura ambiente, hora por hora, para todo un año.

### El proceso es el siguiente:

- 1. Se tomó el Registro histórico anual de temperatura y de material particulado para Puerto Aysén.
- 2. Usando los datos históricos y la relación estadística determinada se estimó la concentración intramuros para dos situaciones: con calefactor original y con el calefactor de recambio.
- 3. La reducción en exposición intramuros se estimó como la diferencia de ambas concentraciones, para tres escenarios de permanencia de la persona expuesta en la vivienda: 24, 18 y 12 horas.
- 4. A partir de la reducción en exposición diaria, se estimó la reducción en exposición anual, y con ella se calculó la reducción en riesgo de muerte debido a exposición crónica a material articulado. El riesgo de muerte se valoró de acuerdo a los lineamientos de (MMA 2013).

A continuación se presenta el análisis y los resultados de cada etapa

## 8.2.1 Registro histórico anual de temperatura y de material particulado para Puerto Aysén

Para el análisis se usaron solo los registros históricos de los meses de Marzo a Noviembre, debido a que se asume que en los otros meses no se usan calefactores.

La siguiente figura muestra el histograma de concentraciones ambientales de MP2,5 y de temperatura horaria en el año 2015, usado para el análisis

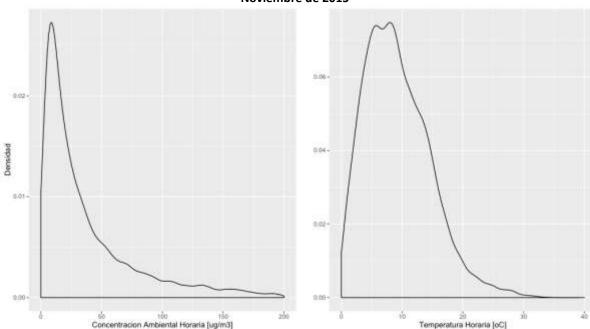


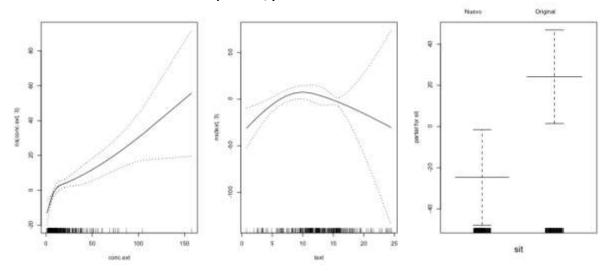
Figura 8-6 histograma de concentraciones ambientales de MP2,5 y de temperatura horaria. Marzo a Noviembre de 2015

## 8.3 Concentración interior con y sin cambio de calefactor

Usando los datos históricos y la relación estadística determinada se estimó la concentración intramuros para dos situaciones: con calefactor original y con el calefactor de recambio.

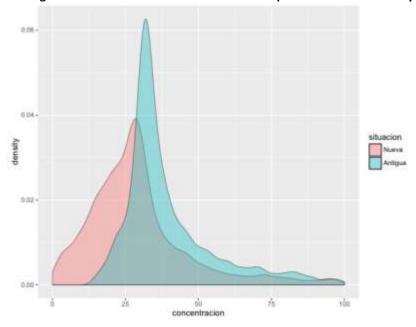
Para estimar la concentración se usó el modelo no paramétrico definido por las relaciones mostradas en la siguiente figura.

Figura 8-7 relaciones no paramétricas de la concentración interior con la concentración exterior, la temperatura, y la situación de calefactor.



La concentración interior se estimó usando el registro de MP2,5 y de Temperatura para 2015 para dos situaciones: Original (es decir, sin calefactor) y Nuevo, con calefactor. De este modo, se obtuvo un registro de concentraciones interiores para ambas situaciones. El histograma para la concentración y para la reducción se presenta en las siguientes figuras. La reducción máxima es de aproximadamente 60  $\mu g/m^3$ , lo que es elevado, pero debe recordarse que esto corresponde a concentraciones horarias, que tienen mayor variabilidad que las diarias.

Figura 8-8 Histograma de la concentración interior horaria para la situación nueva y antigua.



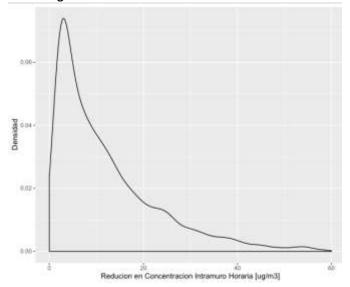


Figura 8-9 Histograma de la reducción de la concentración interior horaria

La siguiente tabla muestra los promedios mensuales de las concentraciones intramuros originales y con el calefactor nuevo de Material Particulado fino MP<sub>2,5</sub>.

Tabla 17 Promedios mensuales de las concentraciones intradomiciliarias

	Concentraciones Intramuros [μg/m³]		Reducci	ón
Mes	Original	Nuevo	[μg/m³]	%
3	35.5	27.7	7.9	22%
4	46.6	38.6	8.0	17%
5	39.4	31.0	8.4	21%
6	61.5	42.5	19.0	31%
7	53.4	34.0	19.5	36%
8	56.0	36.8	19.1	34%
9	41.3	27.2	14.1	34%
10	37.4	26.9	10.5	28%
11	27.2	17.1	10.0	37%
Promedio	44.3	31.3	13.0	29%

La reducción promedio en las concentraciones interiores es 13  $\mu g/m^3$ , lo que representa aproximadamente un 30% de reducción.

## 8.4 Reducción en exposición intramuros

La reducción en exposición intramuros se estimó como la diferencia de ambas concentraciones, para tres escenarios de permanencia de la persona expuesta en la vivienda: 24, 18 y 12 horas. En términos absolutos, varía entre 6.5 y 13  $\mu g/m^3$  de exposición a PM<sub>2.5</sub>. En términos de riesgos de muerte prematura, usando el coeficiente de

riesgo propuesto por (MMA, 2013), esto se traduce en una disminución de riesgo de entre 12% para una persona que permanece todo el tiempo dentro de la vivienda a 6% para una persona que permanece solo la mitad del tiempo en su interior.

Tabla 18 Reducción de exposición a PM<sub>2.5</sub> y reducción de riesgo de muerte prematuro, para diferentes horas de permanencia intramuros

	24h	16h	12h
Reducción exposición (µg/m³)	13.0	8.6	6.5
Reducción de riesgo de muerte (%)	12%	8%	6%

La reducción de riesgo de muerte ocurre desde el momento en que la persona se ve expuesta a una concentración menor de contaminantes. Para valorar esta reducción, se debe considerar todas las reducciones futuras de exposición. Asumiendo una vida útil del calefactor de 20 años, se puede calcular la reducción de riesgo para cada año, obtener la disposición a pagar anual por esa reducción, y luego descontarla para traerla a valor presente.

Este proceso se aplica para todos los habitantes de la vivienda. Como se trata de un cálculo aproximado, no usaremos datos precisos. Para calcular el cambio en riesgo absoluto, usaremos la tasa de mortalidad media de Coyhaique, que es de 457 casos por cada 100.000 personas por año. Para valorar la reducción de riesgo usaremos un valor de la vida estadística (VVE) de 600.000 dólares. Y para la tasa de descuento se usará el valor recomendado por el Ministerio de Desarrollo Social de 6%.

De este modo, la reducción de riesgo absoluta para una persona que permanece 24 horas en la vivienda es de 54,8 por 100.000 (457 \* 12%), y la disposición a pagar anual es de 330 dólares por año. El valor presente de 20 años es de 3.374 dólares.

El valor para una vivienda típica en que viven dos adultos y tres niños se presenta en la siguiente tabla, y corresponde a un total de casi 15 mil dólares por vivienda.

Tabla 19 Cálculo indicativo del beneficio social del recambio de calefactor en una vivienda típica

Integrante	Exposición	Reducción riesgo muerte	Reducción riesgo muerte absoluto	Riesgo base
	h/día	%	10^-6/año	Riesgo base
Adulto	12	6%	274	1,887
Adulto	24	12%	548	3,774
Niño 1	16	8%	366	2,516
Niño 2	16	8%	366	2,516
Niño 3	24	12%	548	3,774
				Total: 14,467 USD

## 9. Discusión y Conclusiones

## 9.1 Generales

Luego de realizada la caracterización térmica general de cada vivienda, se puede mencionar que las Viviendas Nº 1 y 3 cuentan con una adecuada aislación térmica en sus muros, existiendo algunos puentes térmicos en las uniones del siding exterior debido a que éstas no son herméticas y, por ende, puede pasar aire a través de ellas. En estas dos viviendas se encontró que el piso no cuenta con aislación, presentándose flujos de energía hacia el exterior. Por su parte, la Vivienda Nº 2 no cuenta con una adecuada aislación térmica, siendo ésta la de menor calidad constructiva entre las tres.

Con respecto a la eficiencia térmica del recambio, se obtiene que la Vivienda 3 ha alcanzado un porcentaje de mejora del 50,6% tras el recambio, es decir un consumo de la mitad de leña para obtener una misma diferencia de temperatura con el exterior. Por otra parte, las Viviendas 1 y 2 aumentaron su porcentaje de eficiencia en 13,6 y 6%, respectivamente.

En la evaluación económica, se obtiene que las Viviendas 1, 2 y 3 mejoran su nivel de consumo estándar de leña y recuperan la inversión del Copago en menos de un año, considerando una tasa de descuento del 6%.

Finalmente, a modo de recomendación ligado a los puntos anteriores, es indispensable poner énfasis en el mejoramiento térmico de las viviendas, ya que el impacto tendría un efecto sinérgico entre las variables medidas.

Además, se recomienda ampliar el estudio a más casas y aumentar el periodo de evaluación en invierno, para obtener datos más robustos y no solo referenciales.

## 9.2 Impactos en Salud

El resultado del análisis de la Evaluación de Impactos a la Salud humana muestra varias cosas importantes:

- 4. el impacto del cambio de calefactores en la concentración de contaminantes intramuros es importante, y puede resultar en una reducción de casi el 30% durante todo el año.
- 5. El cambio de calefactores también tiene un efecto muy importante en la temperatura interior de los hogares, y sobre todo en independizarla de la temperatura exterior, logrando un confort térmico mayor. Este efecto tiene impactos en salud (desde enfermedades respiratorias agudas hasta mortalidad prematura, como muchos estudios lo muestran). El beneficio social de este efecto no se ha cuantificado.

6. El beneficio social cuantificado, que corresponde a la disposición a pagar por la reducción de riesgos de muerte prematura asociados a la menor contaminación intramuros es muy importante: el valor presente para una persona que vive permanentemente en la vivienda puede llegar hasta 3.370 dólares. Para un grupo familiar de 5 personas, el beneficio social puede llegar a 14.500 dólares.

## El cálculo del beneficio social tiene las siguientes calificaciones

- 1. La estimación de impactos corresponde solo a la reducción en la exposición intramuros, no a la exposición total. La reducción total es probablemente mayor.
- 2. La reducción en la concentración intramuros considera solo el efecto directo del cambio de calefactor de la vivienda, no la reducción debido a las menores concentraciones ambientales (a las que el cambio de calefactor contribuye). La reducción total es probablemente mayor.
- 3. La reducción de concentraciones interiores se estimó a partir de los datos de solo una casa de las estudiadas. La reducción corresponde a aproximadamente un 30% de concentraciones intramuros. No se puede asegurar que el valor real este por arriba o por abajo.
- 4. Por todos estos argumentos, el efecto estimado en el riesgo de muerte depende solo del cambio de calefactor de la vivienda considerada, no del cambio de calefactores en otras viviendas. El efecto del cambio en otras viviendas es relativamente menor, pero afecta a todas las viviendas de la zona.

## 10. Presentación de resultados a Consejo Regional

A continuación, se presenta una carta de compromiso para realizar las actividades finales de presentación al Consejo posterior a la fecha de entrega de este informe final. Esto debido a la disposición de los integrantes del Consejo.

17 de diciembre de 2015

### Carta de Compromiso

Yo, Fabián Hormazábal, Jefe del estudio: "Evaluación del impacto de la calidad de aire interior, confort ambiental y eficiencia energética dentro de las viviendas beneficiadas del programa de recambio en la Región de Aysén", comprometo que el día 11 de enero de 2016 DICTUC realizará la presentación final del estudio ante el consejo regional de Aysén.

Fabián Hormazábal P.

13.903.316-7

## 11. Díptico

A continuación, se presenta una propuesta de Díptico, el cual cumple las bases del gobierno de Chile para diseño. Este será impreso en 1000 unidades para difusión del programa de recambio de calefactores.





A continuación se presenta carta de compromiso de entrega del material impreso a la Seremi de Aysén.

## Carta de Compromiso

Yo, Fabián Hormazábal, Jefe del estudio: "Evaluación del impacto de la calidad de aire interior, confort ambiental y eficiencia energética dentro de las viviendas beneficiadas del programa de recambio en la Región de Aysén", comprometo que el día 11 de enero de 2016 DICTUC realizará la entrega impresa de los 1000 dípticos a la Seremi Región de Aysén, según aprobación del Informe Final Observado.

Fabián Hormazábal P.

13.903.316-7

## 12. Bibliografía

ASHRAE. (2005) (Ed.)^(Eds.) ASHRAE Handbook: Fundamentals, Atlanta. pp. Pages.

- GreenLabUC. (2011) Guía Metodológica para la Elaboración de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) para Instrumentos de Gestión de Calidad del Aire. Estudio encargado por el Ministerio de Medio Ambiente (Ed.).
- Kepleis, N. E., et.al. (Agosto de 2013). Promoting Smoke Free Homes: A Novel Behavioral Intervention Using Real-Time Audio-Visual Feedback on Airbone Particle Levels. Plos One, 8.
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2013). Guía Metodológica Para la Elaboración de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) para Instrumentos de Gestión de Calidad del Aire.

Turns S.R. (1996) (Ed.)^(Eds.) An introduction to combustion, New York. pp. Pages.

#### 13. Anexos

## 13.1 Anexo 1: Consentimiento informado para participar en Estudio

Este documento fue elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente y corresponde al acuerdo de compromiso de las partes (SEREMI MMA, Persona Natural y participante del programa de recambio, Consultor Dictuc S.A.)



## ID Participante: 1207 (P.A)

## CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPAR DE ESTUDIO

#### DEL MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

Título del Estudio: Evaluación del Impacto de la Calidad del Aire Interior, Confort Ambiental y Eficiencia Energética Dentro de las Viviendas Beneficiadas del Recambio en la Región de Aysén

Descripción de la Población Objetivo: Población urbana de Coyhaique y Puerto Aysén que usa leña como combustible.

Fase: Implementación de las mediciones

#### Antecedentes:

El Ministerio del Medio Ambiente ha implementado en varias ciudades del centro y sur de Chile, programas de recambio de calefactores, cuyo objetivo es cambiar un artefacto a leña poco eficiente y con altas tasas de emisiones contaminantes, por otros de mejor tecnología, más eficientes y con menos emisiones contaminantes.

Para poder evaluar lo que pasa dentro de los hogares con los artefactos que actualmente usan las personas que viven en Coyhaique y Puerto Aysén, y compararlo con los calefactores del recambio de tecnologías más avanzadas y certificadas, se ha contratado al DICTUC de la Pontificia Universidad Católica de Chile, para que mida dentro de algunos hogares la temperatura, humedad y emisiones contaminantes.

#### Sobre este consentimiento informado:

Por favor lea cuidadosamente este documento, el cual provee de información importante sobre su participación en este estudio de investigación. Si usted tiene alguna pregunta acerca del estudio o sobre cualquier duda en este documento, por favor pregúntenos. Para oficializar su participación en este estudio se le pedirá que firme la última página de este documento. Una copia del documento firmado será entregada a usted para que pueda mantenerlo en su poder.

#### ¿En qué consiste este estudio?

El propósito de este estudio es evaluar el efecto del programa de recambio de calefactores a leña efectuado en las ciudades de Coyhaique y Puerto Aysén, en cuanto a los niveles de contaminación y a las condiciones de confort térmico dentro de su hogar. Para esto se medirá la concentración de monóxido de carbono y la temperatura y humedad dentro de su hogar,

Ministerio del Medio Ambiente División de Calidad del Aire

Página 1 de 4

П



ID Participante: 1207 (P.A)

durante un periodo de 30 días (15 días utilizando su actual calefactor y 15 días con un calefactor nuevo certificado). Dentro de las actividades que se desarrollarán, se instalarán cuatro sensores dentro de su vivienda y uno en el exterior. Adicionalmente, se le pedirá que complete periódicamente un cuestionario para tener registro sobre las actividades desarrolladas dentro de su casa durante el periodo de monitoreo y que afectan a los resultados (horas de uso del calefactor, cantidad de leña utilizada, etc.). El tiempo que demorará en contestar esta encuesta no requerirá más de 10 minutos diarlos. Periódicamente y con previa coordinación con usted, personal de DICTUC estará visitando su hogar con el fin de verificar el correcto funcionamiento de los sensores, el consumo de leña y que la encuesta se esté completando adecuadamente.

#### ¿Cuáles son mis responsabilidades?

Su principal responsabilidad es usar el calefactor (ya sea el actual o el nuevo) de manera habitual mientras dure el estudio. Durante las visitas programadas le preguntaremos aproximadamente que tan seguido, cuanto tiempo y cuantas veces al día usted usa el calefactor. Las respuestas no tienen que ser exactas, pero debiesen reflejar el uso actual del calefactor. Es necesario recalcar que usted NO debe manipular los instrumentos de medición que dejaremos en su hogar. Ante cualquier sospecha de mal funcionamiento deberá llamar al contacto que se detalla más adelante.

#### ¿Cuáles son los riesgos y posibles incomodidades?

Los sensores que serán instalados en su vivienda no le producirán ninguna incomodidad ni riesgo. Éstos cuentan con baterías propias y registro automático de datos, con lo cual no necesitan cables permanentes. Solo cuando personal de DICTUC visite su hogar, los sensores serán conectados a un computador para descargar sus datos. En estas visitas además, se tomarán fotografías térmicas a su vivienda y se realizará una medición adicional puntual de contaminantes durante algunos minutos.

#### ¿Existe algún beneficio por ser parte de este estudio?

Para calefaccionar su vivienda durante los 30 días que dura el estudio, DICTUC le proveerá la leña sin costo para usted. Es muy importante que utilice solo esta leña, de la forma en que lo hace habitualmente, mientras dure el estudio. Por otra parte, el calefactor nuevo y certificado quedará en su poder luego de concluida esta investigación.

Ministerio del Medio Ambiente División de Calidad del Aire

Página 2 de 4



ID Participante: 1207 (P.A)

## Si tengo alguna pregunta o preocupación acerca del estudio, ¿A quién puedo hablarle?

El equipo de investigación en terreno está conformado por las siguientes personas:

Director: Fabián Hormazábal (DICTUC)

Coordinador y Ejecutor: Omar Barraza (DICTUC)

Personal en terreno: Juan Vasquez (DICTUC)

Responsable Ministerio del Medio Ambiente: Alejandro Barrientos

Usted puede llamarnos o mandarnos un correo electrónico si tiene alguna preocupación o duda. Nuestros números de teléfonos y correo electrónico están listados a continuación:

1. Personal en terreno: Juan Vasquez, DICTUC.

Teléfono celular: 7856 5436

2. Coordinador y ejecutor del estudio: Omar Barraza, DICTUC.

Teléfono fijo en Santiago: 22 354 46 26 (Lunes a Viernes, 9am-6pm)

Teléfono celular: 5902 2176

Correo: o.barraza@dictuc.cl

 Encargado programa recambio en Coyhaique y Puerto Aysén: Alejandro Barrientos, Ministerio del Medio Ambiente.

Teléfono: 42 495 156 (Lunes a Viernes de 9 am a 6 pm)

Correo: bbarrientos@mma.gob.cl

#### Considerarlo si:

- Sus preguntas, preocupaciones o quejas no están siendo contestadas por el equipo de investigación.
- Usted no logra contactar al equipo de investigación.
- Usted desea hablar con alguien externo al equipo de investigación.
- Usted tiene preguntas acerca de sus derechos como participante.
- Usted desea tener información o aportar algo sobre la investigación.

Ministerio del Medio Ambiente División de Calidad del Aire

Página 3 de 4



## Sus derechos de privacidad:

ID Participante: 1207 (P.A)

- Usted tiene el derecho a <u>no</u> firmar este documento que nos permite usar la información recopilada en su hogar para la investigación. Si decide <u>no</u> firmar este documento usted no podrá participar en el estudio.
- Usted tiene el derecho a retirar su permiso otorgado a nosotros para que la información sea usada o compartida en este estudio. Si usted desea retirar su permiso, debe notificarlo al director del estudio, don Fabián Hormazábal Pollicardo, por escrito al siguiente correo electrónico (<u>fhormaza@dictuc.cl</u>). Si usted retira su permiso, no podrá seguir participando en el estudio.

## Declaración de consentimiento.

He leído la información contenida en este documento. Todas las preguntas sobre el estudio de investigación han sido respondidas para mi satisfacción.

Yo declaro aceptar participar en el estudio. Autorizo el uso y exposición de la información recopilada en mi hogar a las partes involucradas, listadas en la sección de privacidad de este documento.

#### FIRMA

Su firma abajo otorga su permiso para ser parte en esta investigación y para usar y exponer protegidamente la información recopilada en su hogar.

Nombre del participante

Firma del participante

Firma de la persona que obtiene el consentimiento

Nombre de la persona que obtiene el consentimiento

Ministerio del Medio Ambiente División de Calidad del Aire

Página 4 de 4



#### Sus derechos de privacidad:

ID Participante: 1711 (CO)

- Usted tiene el derecho a <u>no</u> firmar este documento que nos permite usar la información recopilada en su hogar para la investigación. Si decide <u>no</u> firmar este documento usted no podrá participar en el estudio.
- Usted tiene el derecho a retirar su permiso otorgado a nosotros para que la información sea usada o compartida en este estudio. Si usted desea retirar su permiso, debe notificarlo al director del estudio, don Fabián Hormazábal Pollicardo, por escrito al siguiente correo electrónico (<u>fhormaza@dictuc.cl</u>). Si usted retira su permiso, no podrá seguir participando en el estudio.

## Declaración de consentimiento.

He leído la información contenida en este documento. Todas las preguntas sobre el estudio de investigación han sido respondidas para mi satisfacción.

Yo declaro aceptar participar en el estudio. Autorizo el uso y exposición de la información recopilada en mi hogar a las partes involucradas, listadas en la sección de privacidad de este documento.

#### FIRMA

Su firma abajo otorga su permiso para ser parte en esta investigación y para usar y exponer protegidamente la información recopilada en su hogar.

Nombre del participante

Firma del participante

13/10/2015 Fecha

Firma de la persona que obtiene el consentimiento

Nombre de la persona que obtiene el consentimiento

Ministerio del Medio Ambiente División de Calidad del Aire

Página 4 de 4



ID Participante: 289 (CO)

#### Sus derechos de privacidad:

- Usted tiene el derecho a <u>no</u> firmar este documento que nos permite usar la información recopilada en su hogar para la investigación. Si decide <u>no</u> firmar este documento usted no podrá participar en el estudio.
- Usted tiene el derecho a retirar su permiso otorgado a nosotros para que la información sea usada o compartida en este estudio. Si usted desea retirar su permiso, debe notificarlo al director del estudio, don Fabián Hormazábal Pollicardo, por escrito al siguiente correo electrónico (<u>fhormaza@dictuc.cl</u>). Si usted retira su permiso, no podrá seguir participando en el estudio.

#### Declaración de consentimiento.

He leído la información contenida en este documento. Todas las preguntas sobre el estudio de investigación han sido respondidas para mi satisfacción.

Yo declaro aceptar participar en el estudio. Autorizo el uso y exposición de la información recopilada en mi hogar a las partes involucradas, listadas en la sección de privacidad de este documento.

#### FIRMA

Su firma abajo otorga su permiso para ser parte en esta investigación y para usar y exponer protegidamente la información recopilada en su hogar.

MARIO MARIANTE BARROS	
Nombre del participante	
Januno Vannon-	13/10/2015
Firma del participante	Fecha
1000	
Firma de la persona que obtiene el consentimiento	
01/210.	

Nombre de la persona que obtiene el consentimiento

Ministerio del Medio Ambiente División de Calidad del Aire

Página 4 de 4

# 13.2 Anexo 2: Formulario tipológico de la vivienda e información del calefactor



Formulario tipológico de las viviendas e información del calefactor. Estudio Coyhaique y Aysén Unidad Energía Sustentable

# Formulario tipológico de las viviendas e información del calefactor.

Dinagaián			Fecha Hora	
	Información cons	tructiva y dim	nensiones de	la vivienda.
Casa pareada		Si	_ No	
Casa de un pis	0	Si	No	
Metros cuadra	idos construidos			
Número de pe vivienda	rsonas al interior d	e la		
Ocupación န vivienda	permanente de	la		
Vidriado de vivienda	e la			
Ir	nformación del cale	factor actual		
Tipo de calefa	ctor			
Horario de uso	del calefactor			
Ubicación Calefactor	del			

gases	es del duc	to de evacuació			
Potencia calefactor	del				
Concina a calefacción		otro tipo de	Si	No	
¿Qué tipo?					
Observacio	nes:				

# 13.3 Anexo 3: Formulario de registro de consumo de leña y Formulario de registro de humedad de leña en uso

INGENIERÍA DICTUC

Formulario de registro de consumo de leña Estudio Coyhaique y Aysén Unidad Energía Sustentable

				Fo	<u>rmula</u>	rio de re	gistro (	de	consum	o de leña	<u>a</u>				
			C	Cale	factor	:									
		Vivie	enda:												
	Kilos entr	s egado	tota os:	les					ilos evueltos		ales				
	vis	ita 1	visita 2	vis	sita 3	visita	a 4	vi	sita 5	visita 6	,	visit	a 7	٧	isita 8
Fecha															
Número de Saco		cha rega	kg iniciales		kg isita 1	kg visita 2	kg visita 3	1	kg visita 4	kg visita 5	kg visi 6	ta	kg visit 7		kg visita 8
					1						0				- 0

# Formulario de registro de **humedad** de leña en uso

Número	%	%	%	%	%	%	%	%	%
de Saco	iniciales	visita 1	visita 2	visita 3	visita 4	visita 5	visita 6	visita 7	visita 8

## 13.4 Anexo 4: Encuesta de consumo de leña y sensación térmica



## Encuesta de consumo de leña y sensación térmica

La siguiente encuesta se realiza con el fin de cuantificar la cantidad de leña que usted utiliza y evaluar la sensación térmica que usted percibe al utilizar el calefactor.

En Leños cargados debe indicar la cantidad de palos que introdujo al calefactor.

En cantidad de ocupantes indique la cantidad de personas que están dentro de la vivienda al momento de hacer el registro.

Para evaluar la sensación térmica que su familia percibe utilice notas del 1 al 7:

7 Muy caluroso
6 Caluroso
5 Levemente caluroso
4 Ni frío ni calor
3 Levemente frío
2 Frío
1 Muy frío

En Observaciones indique cualquier evento que le parezca relevante, por ejemplo, el día estuvo muy lluvioso, el calefactor emitió mucho humo, se acabó un saco de leña, etc.

Fecha	Hora	Leños cargados	Cantidad de Ocupantes	Sensación Térmica del 1 al 7	Observaciones



# 13.5 Anexo 5: Planilla registro Macro

# Temperatura y humedad

lbutton N':		1		Ibutton N <sup>*</sup>		2	
N' Identificador:		4000000040A1	AB41	N' Identificador:		4900000040A1	6241
Jbicación del sensor:	Dor	mitorio a 10 cm d	el techo.	Ubicación del	E	xterior, bajo el m	edidor.
		1		sensor:			
Fecha	Hora	Temperatura 'C	Humedad (%)	Fecha	Hora	Temperatura 'C	Humedad (%)
13-10-2015	19:54:01	20,495	46,465				
13-10-2015	19:59:01	20,495	35,400	13-10-2015	19:59:01	22,63	33,441
13-10-2015	20:04:01	18,494	38,450	13-10-2015	20:04:01	13,622	47,730
13-10-2015	20:09:01	17,494	40,120	13-10-2015	20:09:01	11,619	54,519
13-10-2015	20:14:01	16,993	41,315	13-10-2015	20:14:01	10,618	57,548
13-10-2015	20:19:01	16,493	41,965	13-10-2015	20:19:01	10,117	59,344
13-10-2015	20:24:01	16,493	43,259	13-10-2015	20:24:01	10,117	62,303

## Monóxido de Carbono

Sensor N°:		1
Ubicación del sensor:	Living	
Fecha	Hora	PPM de CO
13-10-2015	19:36:17	0
13-10-2015	19:36:47	0
13-10-2015	19:37:17	0
13-10-2015	19:37:47	0
13-10-2015	19:38:17	0
13-10-2015	19:38:47	0

## 13.6 Anexo 6: Carta de Compromiso de Entrega de Equipos

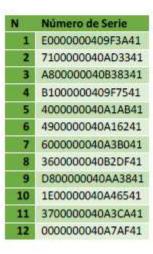
Yo, Fabián Hormazábal Pollicardo, Jefe del estudio: "Evaluación del impacto de la calidad de aire interior, confort ambiental y eficiencia energética dentro de las viviendas beneficiadas del programa de recambio en la Región de Aysén", comprometo que el día 11 de enero de 2016 DICTUC realizará la entrega física de los Equipos del Estudio, los cuales se listan a continuación:

## a) 12 Sensores de Temperatura y humedad iButtons

La imagen de los sensores es la siguiente:



Los números de serie de estos instrumentos que pasarán a propiedad de la Seremi se listan a continuación:





# b) Tres Analizadores de Monóxido de Carbono EL-USB-CO (CO) Data Logger

La imagen de más abajo muestra los analizadores que pasarán a propiedad de la Seremi, los cuales no cuentan con número de serie.



## c) Una Cámara Termográfica Dali, modelo LT3

La imagen muestra la cámara termográfica utilizada y que pasará a propiedad de la Seremi. Ésta no cuenta con número de serie.

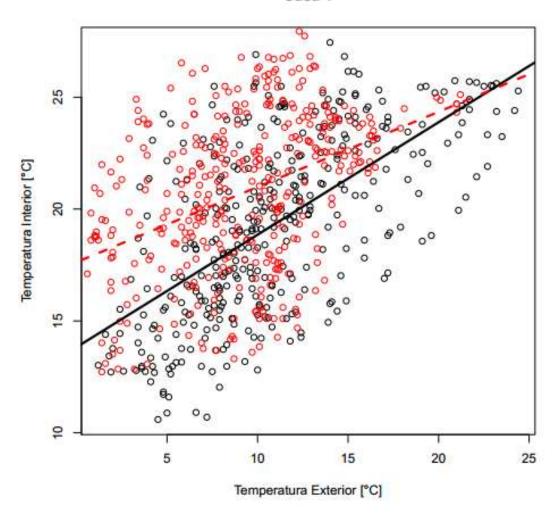


13.7 Anexo 7: Resultados Estadísticos - Evaluación Impactos en Salud



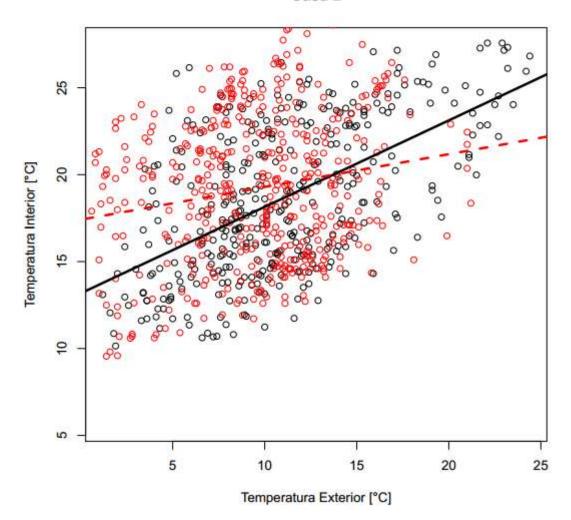
# 13.7.1 Relación de Temperatura Interior y Exterior

# Casa 1



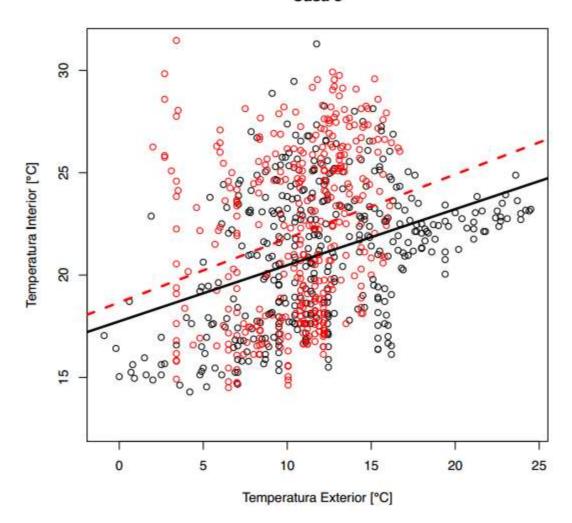


# Casa 2



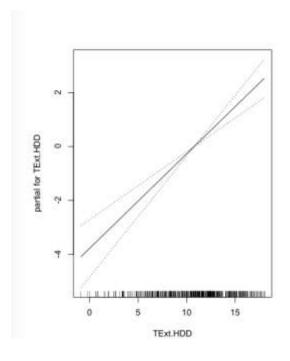


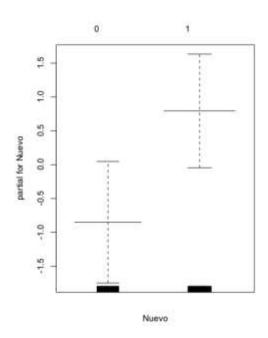
# Casa 3



# 13.7.2Relación entre Temperatura Interior y Exterior Casa 3

Lineal





#### Call:

lm(formula = TInt ~ TExt.HDD \* Nuevo + Nuevo)

#### Residuals:

Min 1Q Median 3Q Max -7.1841 -3.2166 -0.3154 3.0229 11.7336

#### Coefficients:

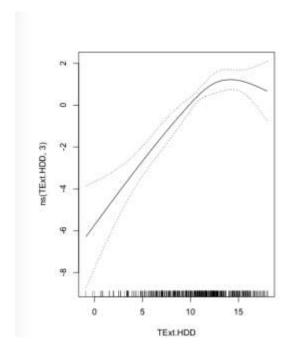
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 17.02111 0.57416 29.645 < 2e-16 \*\*\*
TExt.HDD 0.35019 0.04939 7.090 3.15e-12 \*\*\*
Nuevol 1.64408 0.86879 1.892 0.0588 .
TExt.HDD:Nuevol -0.03746 0.07680 -0.488 0.6258 ---

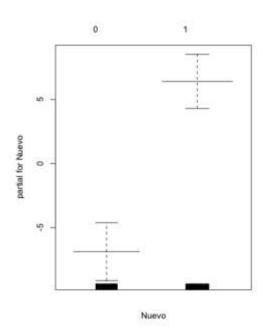
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 '' 1

Residual standard error: 3.644 on 733 degrees of freedom (328 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared: 0.1162, Adjusted R-squared: 0.1125
F-statistic: 32.11 on 3 and 733 DF, p-value: < 2.2e-16



## 13.7.3 Modelo Aditivo Generalizado (GAM)

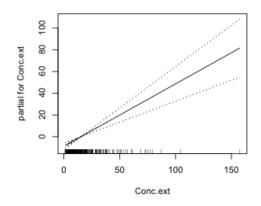


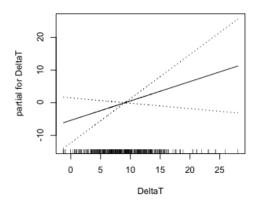


```
all: gam(formula = TInt ~ ns(TExt.HDD, 3) * Nuevo)
Deviance Residuals:
                            3Q
           1Q Median
-7.6675 -3.0631 -0.1905 2.7307 9.5512
(Dispersion Parameter for gaussian family taken to be 12.417)
   Null Deviance: 11012.56 on 736 degrees of freedom
Residual Deviance: 9051.966 on 729 degrees of freedom
AIC: 3958.021
328 observations deleted due to missingness
Number of Local Scoring Iterations: 2
Anova for Parametric Effects
                      Df Sum Sq Mean Sq F value
                       3 1099.6 366.52 29.517 < 2.2e-16 ***
ns(TExt.HDD, 3)
                       1 242.2 242.23 19.508 1.154e-05 ***
ns(TExt.HDD, 3):Nuevo 3 618.8 206.27
                                        16.612 1.894e-10 ***
                    729 9052.0
Residuals
                                 12.42
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```



# 13.7.4 Modelo con Concentración Interior y Cambio de Temperatura





## summary(reg.conc)

#### Call:

Im(formula = Conc.int ~ Conc.ext \* Sit + DeltaT \* Sit)

## Residuals:

Min 1Q Median 3Q Max -41.358 -13.147 -6.395 7.907 126.736

## Coefficients:

Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)

(Intercept) 14.33336 3.15678 4.540 7.57e-06 \*\*\*
Conc.ext 0.57397 0.09392 6.111 2.47e-09 \*\*\*
SitNueva 14.63565 5.06148 2.892 0.00406 \*\*
DeltaT 0.59383 0.37937 1.565 0.11835

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

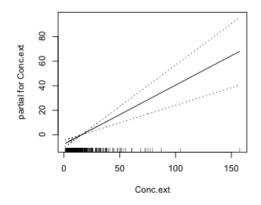
Residual standard error: 21.07 on 376 degrees of freedom

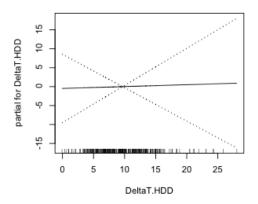
(683 observations deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.1244, Adjusted R-squared: 0.1127



F-statistic: 10.68 on 5 and 376 DF, p-value: 1.301e-09





### Call:

Im(formula = Conc.int ~ Conc.ext \* Sit + DeltaT.HDD \* Sit)

### Residuals:

Min 1Q Median 3Q Max -37.199 -13.655 -6.187 8.416 123.349

## Coefficients:

Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)

(Intercept) 20.94127 4.14351 5.054 7.01e-07 \*\*\*
Conc.ext 0.48045 0.09718 4.944 1.19e-06 \*\*\*
SitNueva 8.02775 5.73872 1.399 0.1627
DeltaT.HDD 0.04905 0.46550 0.105 0.9161
Conc.ext:SitNueva -0.24805 0.14296 -1.735 0.0836 .
SitNueva:DeltaT.HDD -1.02734 0.59030 -1.740 0.0827 .

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 '' 1

Residual standard error: 21.14 on 348 degrees of freedom

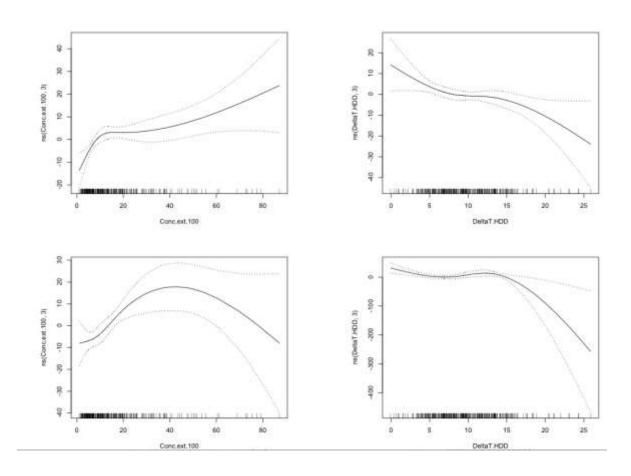
(711 observations deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.09948, Adjusted R-squared: 0.08654

F-statistic: 7.689 on 5 and 348 DF, p-value: 7.135e-07

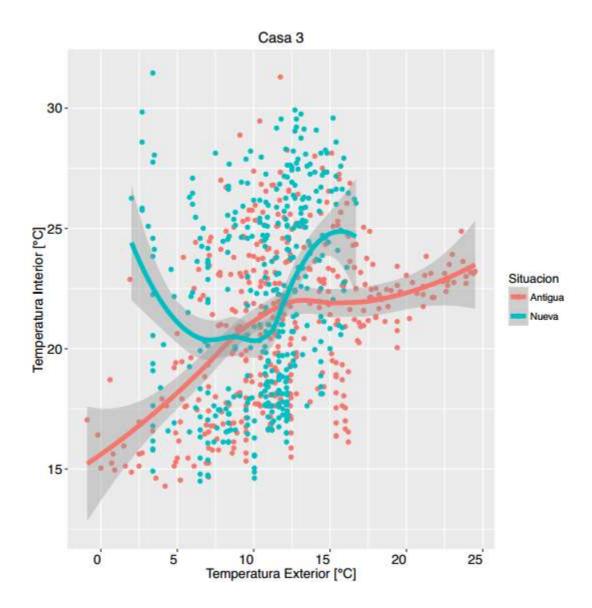


# 13.7.5 Modelos GAM Con y Sin Interacción



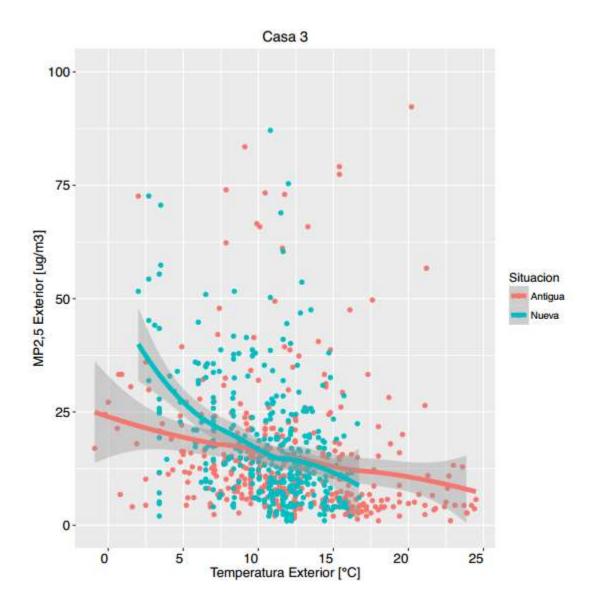


# 13.7.6Temperatura Interior vs Exterior

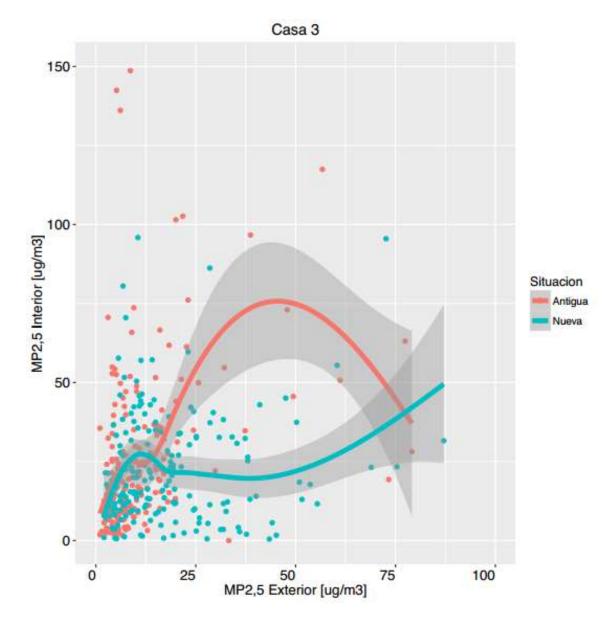




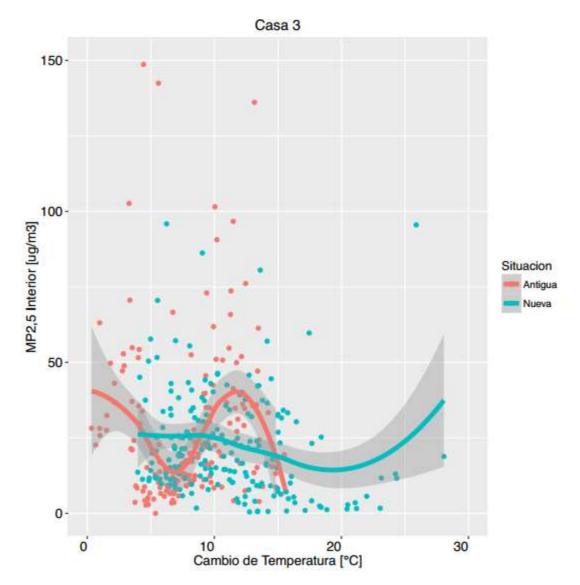
# 13.7.7Concentración Exterior vs Temperatura Exterior





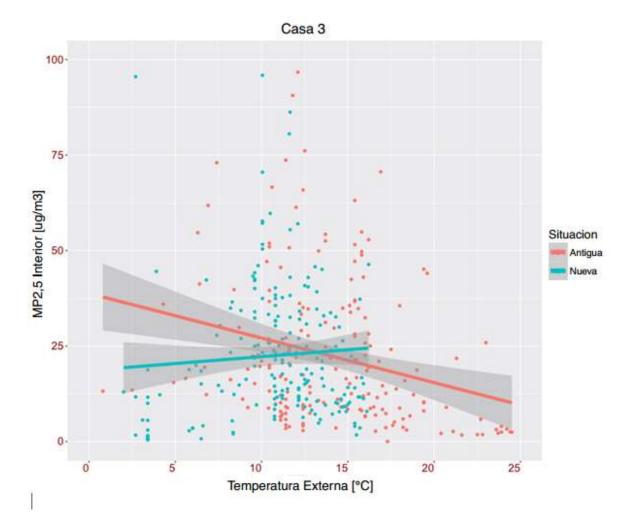




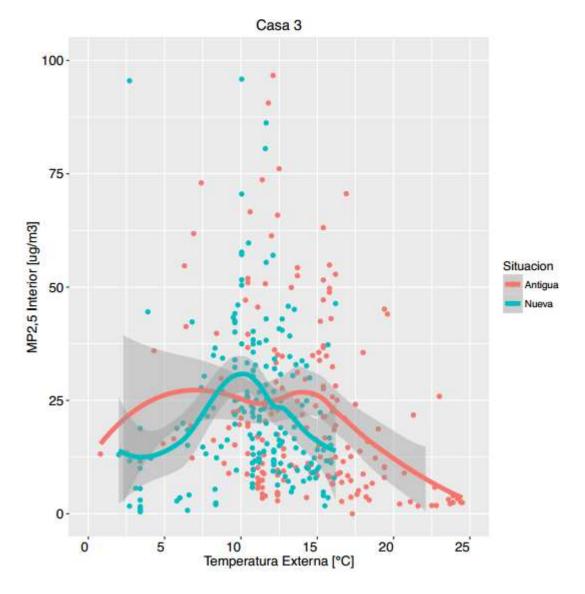




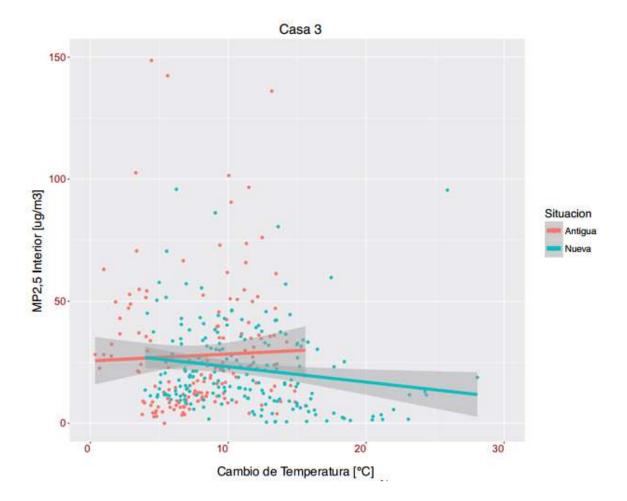
# 13.7.8Concentración Interior vs Temperatura Exterior





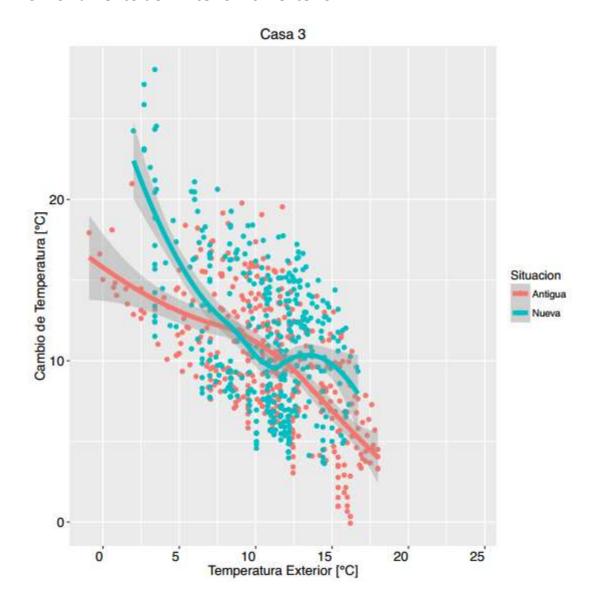




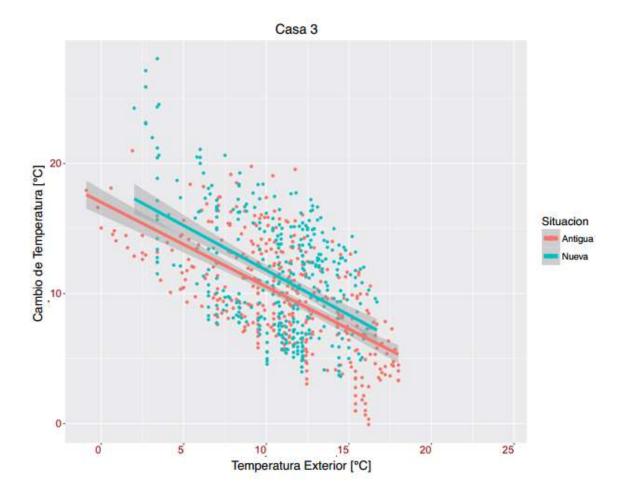




# 13.7.9Aumento de T Interior vs T exterior

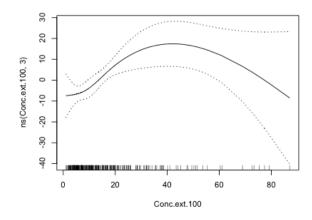


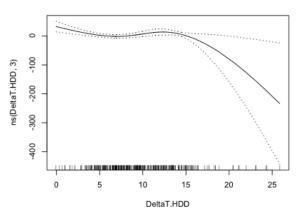


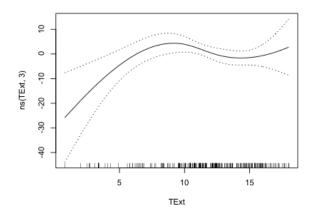




## 13.7.10 Modelo GAM para Concentración Interior







Call: gam(formula = Conc.int ~ ns(Conc.ext.100, 3) \* Sit + ns(DeltaT.HDD,

3) \* Sit + ns(TExt, 3))

**Deviance Residuals:** 

Min 1Q Median 3Q Max

-48.681 -11.478 -4.184 6.308 126.661

(Dispersion Parameter for gaussian family taken to be 410.887)

Null Deviance: 168316.1 on 351 degrees of freedom Residual Deviance: 137647.2 on 335 degrees of freedom

AIC: 3135.957

713 observations deleted due to missingness



## Number of Local Scoring Iterations: 2

```
Anova for Parametric Effects
```

\_\_\_

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 '' 1