



Proyecto/Adquisición No 608897-155-LE15

**INCORPORACIÓN DE VARIABILIDAD E INCERTIDUMBRE
EN EL CONSUMO DE LEÑA RESIDENCIAL A PARTIR DE
FACTORES SOCIOECONÓMICOS, INFRAESTRUCTURA Y
AMBIENTALES**

INFORME FINAL

Concepción, 29 de Enero de 2016.

Proyecto/Adquisición No 608897-155-LE15

INCORPORACIÓN DE VARIABILIDAD E INCERTIDUMBRE EN EL CONSUMO DE LEÑA RESIDENCIAL A PARTIR DE FACTORES SOCIOECONÓMICOS, INFRAESTRUCTURA Y AMBIENTALES

La Subsecretaría del Medio Ambiente del Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de Chile, licitó un estudio con el propósito de determinar, para diferentes ciudades-districtos del país, una relación cuantitativa entre el consumo de leña residencial y diversas variables independientes explicativas. Las referidas variables incluyen información sobre infraestructura de la vivienda, calidad de los equipos a combustión, condiciones meteorológicas y comportamiento de los hogares. El presente documento contiene el informe final del estudio antes referido.

El documento se organiza de la siguiente forma: En la sección 1, se presentan antecedentes generales. La sección 2 presenta el objetivo general y los objetivos específicos del estudio. La sección 3 presenta la metodología utilizada. En la sección 4 se presentan los resultados obtenidos durante la ejecución del estudio. En la sección 5 se presentan las conclusiones. El informe incluye, además, referencias bibliográficas, y cuatro anexos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	ANTECEDENTES GENERALES	1
2.	OBJETIVOS	3
2.1.	Objetivo General.....	3
2.2.	Objetivos Específicos	3
3.	ASPECTOS METODOLÓGICOS	4
3.1.	Generación de un modelo teórico del consumo de leña por hogar, en función de variables explicativas.	4
3.2.	Análisis descriptivo de la bases de datos “Encuesta de consumo energético para calefacción y cocción en el sector residencial” y otras relevantes.	5
3.3.	Especificación y estimación de un modelo econométrico para explicar, con el menor error posible, el consumo residencial de leña.	5
3.4.	Aplicación de los modelos econométricos estimados para predecir el consumo de leña por ciudad-estrato, durante el periodo 2009-2013.	7
3.5.	Análisis de la relación entre material particulado y consumo de leña residencial estimado.....	11
3.6.	Comparación del consumo de leña calculado en base a encuestas CDT y UACH y el consumo de leña de la encuesta CASEN 2013.	11
3.7.	Propuesta de simplificación al instrumento de encuesta sobre consumo residencial de leña.	12
3.8.	Diseño y desarrollo de un taller de capacitación en econometría.	12
4.	RESULTADOS.....	14
4.1.	Resultados sobre generación de un modelo teórico del consumo de leña por hogar, en función de variables explicativas.....	14
4.2.	Resultados sobre análisis descriptivo de las bases de datos “Encuesta de consumo energético para calefacción y cocción en el sector residencial” y otras relevantes.....	17
4.3.	Resultados sobre especificación y estimación de modelos econométricos para explicar, con el menor error posible, el consumo residencial de leña.....	33
4.3.1.	Estimación modelo de consumo anual	33
4.3.2.	Estimación modelo de consumo mensual.....	41

4.4.	Resultados en relación con la aplicación de los modelos econométricos estimados para predecir el consumo de leña por ciudad estrato?, durante el periodo 2009-2013.	48
4.5.	Resultados del Análisis de la relación entre material particulado y consumo de leña residencial estimado.....	50
4.6.	Resultados de la Comparación del consumo de leña calculado en base a las encuestas CDT y UACH y el consumo de leña presente en la encuesta CASEN 2013.....	51
4.7.	Resultados de la Propuesta de simplificación al instrumento de encuesta sobre consumo residencial de leña.....	54
4.8.	Resultados sobre Diseño y desarrollo de un taller de capacitación en econometría.....	57
5.	CONCLUSIONES	58
6.	REFERENCIAS.....	61
	ANEXO A. Estadísticas descriptivas y modelos complementarios	63
	ANEXO B. Listado de variables utilizadas en la estimación del modelo anual y mensual .	70
	ANEXO C: Programa del Curso	72
	ANEXO D. Registro de asistencia al curso de econometría	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información por estrato de muestreo.....	19
Tabla 2. Hogares que usan solo leña vs. hogares que usan leña y otros combustibles	21
Tabla 3. Uso de leña nativa y seca por estrato.....	24
Tabla 4. Distribución etaria de los integrantes del hogar	25
Tabla 5(a). Estadísticas descriptivas (variables utilizadas en las estimaciones econométricas) ...	30
Tabla 5(b). Estadísticas descriptivas (variables utilizadas en las estimaciones econométricas) ...	31
Tabla 5(c). Estadísticas descriptivas (variables utilizadas en las estimaciones econométricas) ...	32
Tabla 6. Estimaciones del modelo de consumo anual de leña.....	38
Tabla 7. Estimación de demanda de leña mensual	44
Tabla 8. Predicción consumo de leña (2009-2013)	49
Tabla 9. Correlación calidad del aire y el consumo de leña predicho	50
Tabla 10. Determinantes de la calidad del aire (2009-2013).....	51
Tabla 11. Consumo anual promedio de un hogar en cada estrato	53
Tabla 12. Variables a medir con la encuesta simplificada	55
Tabla A1. Distribución geográfica y representatividad de los hogares encuestados.....	63
Tabla A2. Ingreso liquido mensual del hogar.....	65
Tabla B1. Variables incluidas en las estimaciones econométricas.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Demanda de leña total.....	20
Figura 2. Consumo de leña total por zona geográfica	21
Figura 3. Consumo de leña promedio.....	22
Figura 4. Consumo de leña promedio por zona geográfica.....	23
Figura 5. Consumo de leña promedio vs. Ingreso	26
Figura 6. Consumo de leña promedio vs. ingreso por zona geográfica.....	27
Figura 7. Precio por kg. de leña (usuarios).....	28
Figura 8. Consumo de leña promedio vs. temperatura	29
Figura A1. Consumo total de leña por zona geográfica	65
Figura A2. Consumo de leña promedio vs. ingreso (zona geográfica)	67
Figura A3. Consumo de leña promedio vs. temperatura (zona geográfica).....	69

1. ANTECEDENTES GENERALES

La contaminación del aire en zonas urbanas es uno de los problemas ambientales más complejos que se enfrentan actualmente en Chile. En especial muchas zonas urbanas del centro sur del país exhiben altos niveles de material particulado respirable en el aire que provienen mayormente de emisiones asociadas al consumo de leña para calefaccionar y cocinar en hogares (ver por ejemplo OCDE-CEPAL 2005, Celis et al, 2004 y 2006).

Para poder abordar este complejo problema las autoridades ambientales han puesto en marcha numerosas iniciativas legales y planes de descontaminación (por ejemplo DS-35/2005, DS-78/2009, DS07/2009, DS-12/2010, entre muchos otros.). Un aspecto importante para poder entender y tomar medidas informadas sobre el problema dice relación con la estimación del consumo de leña. Obviamente los montos de leña totales que se combustionan en los hogares impactan sobre la cantidad de emisiones de material particular generado, y finalmente sobre los niveles de contaminación atmosférica. En tal sentido, un estimado fiable del monto de leña combustionada en los hogares, a nivel de distrito o ciudad, constituye un dato relevante al analizar el problema y tomar medidas al respecto.

En general, el consumo de leña en un hogar se ha estimado preliminarmente en base a encuestas realizadas a hogares en las zonas afectadas. Los resultados de este ejercicio han permitido observar sistemáticamente la dependencia del consumo de leña de diversos factores, entre ellos, el tipo de equipo de combustión presente en los hogares, las dimensiones de las viviendas y nivel de aislamiento de las mismas, las condiciones meteorológicas, el modo de operación de los artefactos de combustión, etc. Entretanto las autoridades ambientales han generado información sobre el consumo de leña mediante encuestas a diferentes ciudades con variadas condiciones. En tal sentido, existe actualmente suficiente información recabada como para diseñar estimadores del consumo de leña usando información a nivel de hogares, que aporten resultados confiables a partir de los cuales se puedan diseñar herramientas de gestión, como por ejemplo, la producción de suficiente leña seca.

El equipo de trabajo que desarrolló este proyecto -cuyo Informe Final se presenta en este documento- ha realizado por varios años investigación teórica y estudios empíricos sobre el tema del uso de instrumentos económicos para controlar el problema de contaminación atmosférica mencionado (ver por ejemplo, Chávez et al. 2008 y 2009, Gómez et al. 2009 y 2010, Chávez et al. 2010 y 2011, Gómez et al. 2012, Gómez et al. 2014). En la mayoría de los estudios mencionados

se requirió de una estimación del consumo de leña, para posteriormente calcular las emisiones y finalmente evaluar los impactos de diseños regulatorios. En todos los casos la estimación del consumo de leña se calculó en base a información obtenida de encuestas previamente o en el marco del estudio específico siendo entonces desarrollado. Sin embargo, a diferencia de casos anteriores, en este estudio la encuesta subyacente involucra una mayor cantidad de comunas, y el objetivo central del proyecto es la estimación del consumo de leña. En tal sentido hay algunos aspectos metodológicos y resultados diferentes que se presentan en este informe final.

El Informe que aquí se presenta, muestra los resultados desarrollados por el equipo ejecutor en ocho componentes centrales: (1) Construcción de un modelo teórico de consumo a nivel de hogares. El modelo propuesto posee una base microeconómica encontrada en la literatura convencional reciente. (2) Análisis descriptivo de las bases de datos disponibles para el estudio empírico del consumo de leña a nivel de hogares. (3) Especificación y estimación de modelos econométricos. (4) Aplicación de los modelos econométricos estimados para predecir el consumo de leña por ciudad-estrato, durante el periodo 2009-2013. (5) Análisis de la relación entre material particulado y consumo de leña residencial estimado. (6) Comparación del consumo de leña calculado en las encuestas CDT y UACH y el consumo de leña presente en base a la encuesta CASEN 2013. (7) Propuesta de simplificación al instrumento de encuesta sobre consumo residencial de leña. (8) Diseño y desarrollo de un taller de capacitación en econometría.

2. OBJETIVOS

En esta sección se establecen el objetivo general y los objetivos específicos solicitados por el mandante.

2.1. Objetivo General

Determinar para diferentes ciudades de Chile una relación cuantitativa entre el consumo de leña residencial a partir de variables independientes relacionadas con la infraestructura de la vivienda, calidad de los equipos a combustión, meteorología y comportamiento de los hogares.

2.2. Objetivos Específicos

(a) Cuantificar el efecto de variables tecnológicas, infraestructura, conductuales y meteorológicas en el consumo de leña residencial mediante un análisis econométrico de la base de datos "Encuesta de consumo energético para calefacción y cocción en el sector residencial" levantada por el MMA para 10 ciudades del centro y sur de Chile.

(b) Aplicar el modelo econométrico generado para calcular el consumo de leña por ciudad en el período 2009-2013, considerando variables explicativas significativas.

(c) Comparar el consumo de leña de la "Encuesta de consumo energético para Calefacción y cocción en el Sector residencial" con las preguntas de la encuesta CASEN 2013 asociadas a consumo de leña.

(d) Diseñar y dictar una clase de econometría teórica y aplicada para profesionales del Ministerio del Medio Ambiente basado en los análisis realizados en el presente estudio.

3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Se presenta a continuación una breve descripción de la metodología empleada durante la ejecución del estudio. La presentación se realiza considerando los componentes principales del estudio. De acuerdo al plan de actividades, los componentes principales antes referidos incluyen: (a) Construir un modelo teórico de consumo a nivel de hogares; (b) Analizar de manera descriptiva las bases de datos disponibles para el análisis empírico del consumo de leña a nivel de hogares; (c) Especificar y estimar modelos econométricos básicos utilizados en los ejercicios de estimación; (d) Aplicar los modelos econométricos estimados para predecir el consumo de leña por ciudad-estrato, durante el periodo 2009-2013; (e) Analizar la relación entre material particulado y consumo de leña residencial estimado; (f) Comparar el consumo de leña de las encuestas CDT y UACH y el consumo de leña de la encuesta CASEN 2013; (g) Proponer una simplificación al instrumento de encuesta sobre consumo residencial de leña; y (h) Diseñar y desarrollar un taller de capacitación en econometría.

3.1. Generación de un modelo teórico del consumo de leña por hogar, en función de variables explicativas.

El marco conceptual básico para la generación de un modelo teórico de consumo de leña por parte de un hogar está basado en el enfoque microeconómico. Nuestra comprensión conceptual respecto de estas decisiones está parcialmente expuesta en los trabajos científicos desarrollados previamente por Chávez, Stranlund y Gómez (2011) y Gómez, Briceño y Chávez (2009). Dada la experiencia previa del equipo consultor, se ha desarrollado un modelo conceptual sobre determinantes de consumo de leña de un hogar teniendo en cuenta factores socio-económicos, infraestructura de la vivienda, aspectos tecnológicos asociados a los equipos disponibles en el hogar, características geográficas del distrito en que residen los hogares. El modelo teórico desarrollado es usado posteriormente para determinar la especificación general a estimar en el modelo empírico, la cual incorpora variables relacionadas a la infraestructura de las viviendas, características y hábitos del hogar, variables climáticas, características de equipos de calefacción y/o cocción y otras que se han estimado conveniente, y se encuentren disponibles.

3.2. Análisis descriptivo de la bases de datos “Encuesta de consumo energético para calefacción y cocción en el sector residencial” y otras relevantes.

En paralelo al desarrollo de un modelo conceptual sobre consumo de leña a nivel de hogares, se revisaron las bases de datos generadas a partir de la aplicación del instrumento "Encuesta de consumo energético para calefacción y cocción en el sector residencial". El análisis tuvo como objetivo determinar cuáles variables podrían ser utilizadas, de acuerdo al modelo teórico, en las estimaciones econométricas necesarias para cumplir con los objetivos de este estudio.

La revisión de la base de datos se inició con un análisis de la consistencia y disponibilidad de casos utilizando estadística descriptiva básica (media, varianza, coeficiente de variación, mínimos, máximos, identificación de datos fuera de rango, etc.). De esta manera, se determinó que la unidad de análisis para el presente estudio son los usuarios de leña que habitan las zonas urbanas de los distritos en los que se aplicó el instrumento. La información fue también caracterizada gráficamente, lo que ha permitido tener mayor conocimiento con respecto a la distribución de las variables de interés no sólo a nivel individual (hogar) sino también a lo largo del país (distritos). El análisis gráfico también permitió detectar en forma preliminar la existencia de asociaciones entre varias variables, por ejemplo las variables climáticas, y el consumo de leña.

Luego de contar con un marco de datos limpio, una base de datos con variables y casos dispuestos de manera adecuada para los propósitos de este estudio, se procedió a seleccionar un conjunto de variables, que en correspondencia con el marco teórico serían utilizadas como variables explicativas en las estimaciones econométricas. La selección de las variables se desarrolló de acuerdo al aporte potencial a la calidad de la predicción esperada que cada una de ellas ofrece y a su disponibilidad en las bases de datos utilizadas.

3.3. Especificación y estimación de un modelo econométrico para explicar, con el menor error posible, el consumo residencial de leña.

El análisis econométrico, en particular, el estudio causal de un fenómeno utilizando herramientas estadísticas, es generalmente fundamentado en un modelo teórico matemático que permita establecer *a priori* la relación entre las variables de interés en el estudio y que guíe el trabajo de estimación e inferencia (Gujarati, 2003). El análisis econométrico y la subsecuente elección de modelos se realizaron tomando en consideración los objetivos del estudio. Debido a

que las estimaciones tienen un objetivo tanto explicativo (se quiere estimar el impacto de variables sobre el consumo de leña) como predictivo (se quiere comparar los pronósticos de las estimaciones de los modelos econométricos con datos obtenidos a través de otras encuestas), la estrategia de estimación ha considerado ambos componentes.

De acuerdo a lo indicado en las bases del estudio, entre los objetivos se considera analizar el efecto de un conjunto de variables “exógenas” sobre el consumo de leña. En cuanto a los determinantes del consumo de leña, las variables seleccionadas en las actividades previamente descritas se agruparon en una ecuación a estimar de la forma:

$$y_{ij} = f(X_i, I_i, C_i, W_j; \varepsilon_{ij}), \quad (1)$$

donde: y_{ij} es el consumo de leña del hogar i en la ciudad j , X_i es un conjunto de variables socioeconómicas asociadas al hogar i , I_i es un conjunto de variables correspondiente a la infraestructura energética y de la vivienda del hogar i , C_i es un vector de variables de comportamiento del hogar i , y W_j es un vector de variables climáticas de la ciudad j ; ε_{ij} denota el término de error.

Se desarrollaron dos estrategias de estimación. En primer lugar, se estimó un modelo econométrico con datos anuales. En segundo lugar, se procedió a estimar un modelo econométrico con base en datos mensuales. Detalles de las especificaciones utilizadas y métodos de estimación se presentan en la sección 4.3, donde también se discuten los resultados de estimación de los modelos econométricos.

Desde el punto de vista econométrico, considerando que los objetivos explicativos y predictivos demandados por el estudio no van necesariamente de la mano, se exploraron diversas especificaciones para seleccionar el modelo más adecuado para estimar el consumo de leña para fines explicativos y predictivos, respectivamente. Siguiendo la literatura relevante (ver por ejemplo, Gujarati (2003) y Cameron y Trivedi (2006)), se proponen especificaciones semi-logarítmicas de carácter anual y mensual, las cuales representan de mejor manera la distribución del consumo de leña. Para evaluar el ajuste de los modelos propuestos, se estimaron distintas versiones de una misma especificación utilizando errores robustos (estimaciones anuales) y errores clúster (modelos mensuales). Los modelos ajustados fueron comparados posteriormente utilizando

el R-cuadrado (estimaciones mensuales) y el R-cuadrado de corte transversal (estimaciones mensuales) como medida de bondad de ajuste.¹

Con el fin de incorporar la naturaleza explicativa y predictiva del estudio en el análisis econométrico, se estimaron dos versiones de la especificación propuesta. La primera versión consiste de un *modelo completo*, que estima la especificación propuesta, y tiene como objetivo evaluar la significancia estadística de las variables explicativas, de acuerdo a lo sugerido por el modelo teórico. Por consiguiente, este enfoque no sólo permite ajustar un modelo correctamente especificado sino también evaluar las predicciones del modelo teórico, entregando evidencia empírica de los determinantes del consumo de leña en las ciudades en estudio. La segunda versión corresponde a un *modelo reducido*, que restringe el análisis al vector de variables estadísticamente significativas del modelo completo. El restringir el análisis a las variables que explican el consumo de leña facilita el análisis de predicción, al enfocar el análisis a las variables que explican la variabilidad en el consumo de leña, a la vez que reduce el número de supuestos requeridos para llevar a cabo la predicción.

3.4. Aplicación de los modelos econométricos estimados para predecir el consumo de leña por ciudad-estrato, durante el periodo 2009-2013.

A partir del modelo mensual reducido propuesto se procedió a estimar el consumo mensual de leña por hogar para el periodo comprendido entre el año 2009 y año 2013. Este ejercicio incluyó la estimación de algunas variables adicionales requeridas para los años 2009-2012. Luego, usando las variables estimadas, se procedió a predecir el consumo de leña mensual por hogar, y en base a éste, el consumo para cada uno de los estratos identificados en las dos encuestas subyacentes al estudio. A continuación detallamos el proceso, comenzando por las variables necesarias para la predicción.

De acuerdo al modelo reducido, las variables requeridas para la predicción del consumo mensual incluyen el número de adultos mayores de 60 años “*No. de adultos (> 60 años)*”, ingreso del hogar “*Ingreso*”, tamaño de la vivienda “*Tamaño de la vivienda*”, tipo de vivienda “*Tipo de vivienda*”, aislamiento térmico en techos “*Aislamiento térmico (techos)*”, número de equipos de

¹ Debido a que la especificación a estimar fue previamente aprobada por la CT, todos los modelos estimados tienen la misma variable dependiente y el mismo número de variables independientes, lo que permite utilizar el R-cuadrado como medida única de bondad de ajuste.

calefacción a leña en el hogar “*No. de equipos de calefacción a leña*”, eficiencia del principal equipo de calefacción a leña “*Eficiencia equipo de calefacción (leña)*”, número de horas de uso diarias del equipo de calefacción a leña “*Intensidad uso equipo de calefacción (leña)*”, uso de leña como combustible para cocción en el hogar “*Uso de leña como combustible para cocción*”, si el hogar posee más de un equipo de cocción a leña “*Más de un equipo de cocción (leña)*”, precio de la leña en la región de residencia del hogar “*Precio leña*”, precio de la parafina en la región de residencia del hogar “*Precio parafina*”, temperatura promedio (anual o mensual) “*Temperatura*”, velocidad del viento promedio (anual o mensual) “*Velocidad del viento*”, si el hogar percibe que la contaminación no es un problema importante en su comuna de residencia “*Contaminación no importante (comuna)*”, si el hogar percibe que el consumo de leña es el principal responsable de los niveles de contaminación de la comuna “*Responsable contaminación (leña)*”, porcentaje de leña nativa adquirido por el hogar (reportado) “*Porcentaje leña nativa*”, y un conjunto de variables dicotómicas (*mes y estrato*).

Para la estimación del consumo de leña se parte de los hogares considerados en las encuestas que sirven de base para el estudio y se proyectan éstos hacia el año 2009. La idea central detrás de la proyección es replicar las características que tendrían estos hogares en los años previos a la encuesta. Luego, con la muestra proyectada se estima el consumo de leña de los estratos.

Idealmente, la predicción para los años 2009 al 2012 se realiza en base a información conocida para las variables del modelo reducido. Lamentablemente, debido a que el instrumento sólo incluye información a nivel de hogar en un único momento del tiempo, no se contó con información suficiente para todas las variables, y por esto, en algunos casos, se supuso que los hogares no cambiaron, y en otros casos, se procedió a realizar estimaciones en base a información secundaria. Es importante mencionar que sólo se asumió que las características de los hogares permanecían fijas en el tiempo en los casos en que este supuesto fuera realista. A continuación se explica por cada variable la información disponible y la forma de construir la variable cuando no se cuenta con toda la información requerida.

- No. adultos (> 60 años). El número de adultos mayores a 60 años por hogar se mantuvo constante. En este sentido se supone que a nivel agregado (por estrato) en el hogar no habría cambios entre el año 2009 y el año 2013. Es posible que esta variable haya variado entre años a nivel de hogares, sin embargo, no se espera que el cambio sea significativo en el periodo de análisis a nivel agregado, cuestión que es relevante para el estudio.

- Ingreso. Esta variable es altamente relevante para la adecuada estimación del consumo de leña. En este caso, es importante reflejar las diferencias de ingreso por hogar. Para esto se calculó la variación del ingreso entre el año 2009 y el 2013 en base a la misma información presente en el Compendio Estadístico 2014 del INE.
- Tamaño de la vivienda. Se asume que el tamaño de la vivienda no ha cambiado. No se cuenta con información adicional para reconstruir la variación temporal de esta variable.
- Tipo de vivienda. Se asume que la proporción entre las viviendas residenciales versus las viviendas con uso comercial se mantiene constante. Tampoco se cuenta con información adicional para caracterizar la variación temporal de esta variable.
- Aislamiento térmico (*techos*). Se asume que esta característica se mantiene constante. Aunque no se cuenta con información para construir esta variable, el supuesto de que sea constante es bastante razonable.
- No. equipos de calefacción a leña. Se asume que esta característica se mantiene constante. No se cuenta con información sobre la variación temporal de esta variable, pero asumir que sea constante es supuesto inicial razonable.
- Eficiencia equipo de calefacción (*leña*). Se asume que esta característica se mantiene constante. Pese a que no se cuenta con información para construir esta variable, este supuesto es razonable, ya que los equipos usualmente no sufren cambios importante durante en el transcurso de su vida útil.
- Intensidad uso equipo de calefacción (*leña*). Se asume que esta característica se mantiene constante. No se cuenta con información para construir esta variable, pero cabe asumir que es constante, ya que la forma en que usa un equipo es ciertamente una característica inherente a las familias y no sufre variaciones importantes en un período corto e tiempo.
- Uso de leña como combustible para cocción. Se asume que esta característica se mantiene constante. Esta variable no podemos reconstruirla a través del tiempo, por falta de información. Sin embargo, de manera general las familias utilizan los equipos a leña por períodos muy largos, y hace sentido la hipótesis de que sea constante la variable.
- Más de un equipo de cocción (*leña*). Se asume que esta característica se mantiene constante. Pese a que no se cuenta con información para construir esta variable, este supuesto es bastante razonable.

- Precio leña. Se utilizó el índice de precio de la leña calculado por el INE. Se ajustó el precio de leña del hogar (año 2013) de acuerdo al cambio en el índice de precio de la leña.
- Precio parafina. No fue necesario estimar esta variable. La información de precio de parafina está disponible a nivel regional para todo el periodo requerido en las bases estadísticas que brinda la Comisión Nacional de Energía. Esta información es la misma utilizada para la estimación del modelo.
- Temperatura. No fue necesario estimar esta variable. Se utilizó la información entregada por la contraparte técnica.
- Velocidad del viento. No fue necesario estimar esta variable. Se utilizó la información entregada por la contraparte técnica.
- Contaminación no importante (*comuna*). Se asume que esta característica se mantiene constante. No se cuenta con información adicional para construir esta variable.
- Responsable contaminación (*leña*). Se asume que esta característica se mantiene constante. Pese a que no se cuenta con información para construir esta variable, este supuesto es bastante razonable.
- Porcentaje de leña nativa. Se asume que esta característica se mantiene constante. Pese a que no se cuenta con información para construir esta variable, este supuesto es bastante razonable. No se puede reconstruir esta variable en el tiempo por falta de información, pero la hipótesis que sea constante es razonable, ya que el uso de leña nativa constituye una característica propia de las familias y no debe sufrir variaciones importantes en el período de tiempo bajo análisis.
- Variables dicotómicas (*mes y estrato*). Variables dicotómicas que representan los meses del año o los estratos. Estas variables son fijas en cualquier periodo considerado.

Una vez que se proyecta el consumo por hogar, se estima el consumo del estrato utilizando los ponderadores presentes en las encuestas. Estos ponderadores están asociados al número de hogares del año 2013. Para proyectar los ponderadores al número de hogares existentes en los estratos los años anteriores al 2013 se utilizó información del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). La información con la que se contó es una estimación del número de hogares por comuna para los años 2009 al 2012. Asumiendo la misma distribución entre hogares urbanos y rurales presente en las encuestas, se ajustaron los ponderadores del año 2013 para representar el número de hogares de los años anteriores. En este sentido, si las estimaciones de hogares del

(MINVU) muestran que una comuna aumento sus hogares en un 5% del 2012 al 2013, el ponderador de los hogares de esa comuna será reducido de acuerdo a ese porcentaje para mostrar que los hogares el año 2012 fueron menores.

3.5. Análisis de la relación entre material particulado y consumo de leña residencial estimado.

Luego de la estimación del consumo mensual de leña, se procede a calcular la correlación entre el consumo de leña mensual por estrato y el nivel de contaminación del estrato. Cabe señalar que no es posible estimar el consumo de leña a nivel de comuna puesto que la representatividad de la encuesta no lo permite. El nivel de contaminación por estrato es calculado como el promedio del nivel de PM10 y PM25 entre las comunas que pertenecen al estrato de la encuesta. De esta manera, el objetivo de predicción se desarrolla a partir de un conjunto de datos que tienen una estructura temporal de carácter mensual, mientras que la dimensión individual está representada por los estratos.

El cálculo de la correlación se realiza por año para el periodo de estudio, lo que permite analizar si la asociación entre ambas variables varía sustancialmente de un año a otro. Además, para controlar por las diferencias anuales, se estima un modelo de efectos fijos entre el consumo de leña y el nivel de contaminación y variables dicotómicas que representan los años. Esta estimación intenta rescatar la relación entre consumo de leña y calidad del aire (PM10 y PM25) controlando por las diferencias anuales.

3.6. Comparación del consumo de leña calculado en base a encuestas CDT y UACH y el consumo de leña de la encuesta CASEN 2013.

En relación a este componente procedimos a realizar una comparación detallada de las preguntas y unidades utilizadas en cada instrumento de medición. Posteriormente, procedimos a realizar un análisis de comparación del consumo de leña anual estimado a través de los instrumentos bajo análisis. El consumo de leña por hogar fue calculado considerando solamente a los hogares de zonas urbanas que consumían leña. Además, se consideró a los hogares urbanos de las comunas consideradas en la encuesta CASEN 2013 y correspondientes a los estratos de las encuestas CDT y UACH. Finalmente, la comparación también consideró los factores de expansión

respectivos asociados a cada encuesta, de manera de cuidar en la comparación la composición de los hogares en cada unidad espacial o geográfica considerada.

3.7. Propuesta de simplificación al instrumento de encuesta sobre consumo residencial de leña.

Una vez comparados los instrumentos y su capacidad para calcular el consumo residencial de leña, se realizó un análisis detallado de sus diferencias teniendo en consideración aspectos como el objetivo de las encuestas, diseños muestrales, zonas representadas, variables medidas y otras consideraciones.

Con el análisis previo se realizó una revisión del instrumento, considerando las variables que posee tanto la versión actual de la encuesta como las variables utilizadas en el modelo econométrico. En base a ello se propuso una versión resumida de la encuesta que simplifica la misma, pero que aún permite una aplicación futura del instrumento manteniendo comparabilidad con la versión anterior. El criterio principal para la simplificación del instrumento ha sido la significancia estadística de las variables para explicar el consumo residencial de leña durante el periodo en estudio.

3.8. Diseño y desarrollo de un taller de capacitación en econometría.

El diseño y realización de un taller de econometría, destinado a los profesionales del Ministerio del Medio Ambiente constituye el último componente de la propuesta, de acuerdo a lo estipulado previamente. Este componente consistió de una única actividad. El objetivo del taller consistió en que los profesionales participantes adquirieran conocimiento de los conceptos y modelos econométricos básicos, teniendo como caso de estudio el análisis del consumo residencial de leña en el centro y sur del país.

El taller fue diseñado para dictarse en dos días, con un total de 16 horas. Las secciones de la mañana fueron enfocadas a presentar los conceptos econométricos básicos, desde una perspectiva teórica, mientras que la sección de la tarde tuvo, según diseño, un enfoque aplicado, centrado en replicar los resultados del estudio incluyendo una discusión crítica sobre los enfoques adoptados. Al finalizar el taller, los profesionales se encuentran ahora en capacidad de realizar un análisis exploratorio de datos, de entender los fundamentos que vinculan los modelos teóricos con

los modelos econométricos, de estimar modelos de regresión básicos, y de aplicar los criterios para la selección de modelos. El taller se dictó en Santiago con la participación de tres miembros del equipo de trabajo.

4. RESULTADOS

4.1. Resultados sobre generación de un modelo teórico del consumo de leña por hogar, en función de variables explicativas.

En esta sección se presenta una simplificación del modelo discutido en Chávez, Stranlund y Gómez (2011). La simplificación del modelo apunta a enfocar el resultado del mismo hacia un instrumento predictivo del consumo de leña del hogar en base a un conjunto de variables ya conocidas.

Una primera simplificación del modelo en Chávez, Stranlund y Gómez (2011) se refiere a la exclusión de la eventual influencia que puedan tener los niveles de contaminación sobre las decisiones de consumo de leña de los hogares. Independientemente de las acciones regulatorias recientes que fuerzan una relación de este tipo, puede existir una influencia tal, en tanto los hogares al observar niveles de contaminación altos decidan reducir su consumo de leña. Sin embargo, esta interacción es indirecta y de segundo orden, por lo que su influencia sobre el consumo final ha de ser menor comparado con otras componentes directas, por ejemplo, climatológicas (frio, lluvia, etc.), familiares (hijos pequeños o ancianos en el hogar), etc. Por esta razón, y para enfocar el análisis, prescindimos de incluir explícitamente los niveles de contaminación en este modelo, dejando de lado por tanto su influencia sobre el consumo de leña de un hogar individual.

La exclusión de la eventual influencia que puedan tener los niveles de contaminación sobre las decisiones de consumo de leña de los hogares es un supuesto simplificador importante por varias razones. Por una parte, un modelo teórico que considere de manera explícita la influencia de los niveles de contaminación sobre las decisiones de consumo de leña de los hogares requiere una formulación mucho más compleja, que generaría, por su naturaleza, dependencias cruzadas entre las soluciones óptimas para los distintos hogares. Por otra parte, este tipo de modelos escapa del marco conceptual de los modelos econométricos lineales usuales considerados en este estudio y se requerirían datos de mayor riqueza para su utilización. Finalmente, cabe esperar que la ganancia generada por la mayor complejidad del modelo no genere un efecto de relativa importancia en los resultados.

Una segunda simplificación respecto al modelo en Chávez, Stranlund y Gómez (2011), es que hemos desistido de considerar funciones de utilidad generales tomando como punto de partida la hipótesis simplificadora que los hogares cubren su demanda energética combinando sus fuentes

de energía de modo tal que se minimizan los gastos en combustible.

Modelo simplificado de consumo de leña

Consideremos N zonas urbanas separadas geográficamente, indexadas en j , y cuya heterogeneidad espacial genera suficiente diversidad socioeconómica, geográfica y de condiciones meteorológicas. Denotemos para la zona urbana j como n_j el número de hogares existentes en ella, que indexaremos por i . Para no recargar la notación desistiremos del índice de zona urbana, cuando sea posible.

Asumimos que cada hogar tiene una demanda energética e_i que cubre combinando el uso de leña y de otro combustible (o una combinación de varios combustibles) diferentes a la leña. Consideramos que cada hogar posee un set de equipos fijo (sin recambio) con los cuales combustiona una cantidad de leña variable que denotaremos por x_i^L . La cantidad de combustible alternativo que utiliza el hogar en otros equipos para cubrir su demanda de energía la denotamos por x_i^A . Cabe destacar que en nuestro contexto nos referimos solo a la demanda de energía para calefaccionar y cocinar. La relación el nivel de energía a cubrir en el hogar y los montos de cada combustible utilizados para producirla asumimos que viene dada por la siguiente relación:

$$x_i^L = f_i(x_i^A, e_i, \eta) \quad (2)$$

La función f_i debe ser decreciente respecto a x_i^A ($\frac{\partial f_i(x_i^A, e_i, \eta)}{\partial x_i^A} < 0$), asumiendo que los combustibles alternativos a la leña son sustitutos para producir la energía requerida por el hogar.

Adicionalmente f_i debe ser creciente respecto a e_i ($\frac{\partial f_i(x_i^A, e_i, \eta)}{\partial e_i} > 0$), teniendo en cuenta que se requiere mayor cantidad de leña para producir más energía si se mantiene constante el uso de los combustibles alternativos. El parámetro η describe en este contexto características de los hogares (por ejemplo tipo de equipos que posee el hogar, modo de operarlos, etc.), y que influyen en la cantidad de leña usada, pero son generalmente no observables, aunque en el marco de una encuesta, como en este estudio, pueden aproximarse sus niveles.

En nuestro modelo, para un nivel de energía e_i fijo, el hogar elige los niveles de consumo x_i^L y x_i^A resolviendo el siguiente problema:

$$\begin{aligned} \min \quad & GE(x_i^L, x_i^A) = p_L \cdot x_i^L + p_A \cdot x_i^A \\ \text{s.a.} \quad & x_i^L = f_i(x_i^A, e_i, \eta) \end{aligned} \quad (3)$$

donde la función GE representa los gastos en energía del hogar y los parámetros p_L y p_A denotan los precios de la leña y los combustibles alternativos, respectivamente.

La solución del problema (3) establece la siguiente nueva relación entre las variables y los parámetros involucrados en el modelo:

$$\frac{\partial f_i(x_i^A, e_i, \eta)}{\partial x_i^A} = -\frac{p_A}{p_L} \quad (4)$$

De esta relación puede en general despejarse la variable x_i^A invirtiendo respecto a la misma al lado izquierdo, lo cual lleva a una expresión funcional del tipo siguiente:

$$x_i^A = g_i\left(\frac{p_A}{p_L}, e_i, \eta\right) \quad (5)$$

Combinando la anterior expresión con (2) se obtiene una dependencia directa de la variable que nos interesa (consumo de leña) respecto a los parámetros del modelo, que denotaremos como h

$$x_i^L = f_i\left(g_i\left(\frac{p_A}{p_L}, e_i, \eta\right), e_i, \eta\right) = h_i(p_A, p_L, e_i, \eta) \quad (6)$$

Finalmente, cabe asumir que el consumo de energía de los hogares $e_i(\theta_i, \sigma)$ depende de dos parámetros adicionales. Por una parte θ_i agrupa parámetros propios del hogar, como por ejemplo el ingreso familiar, las características del aislamiento de la vivienda, etc. Por otra parte, el parámetro σ rescata las variables externas más generales, no asociadas a un hogar particular, como por ejemplo las condiciones meteorológicas, etc. En el contexto de nuestro modelo la variable e_i se refiere a la energía que el hogar logra cubrir con los insumos considerados. Esta variable no observable resulta de un proceso de decisión interna en el hogar que no estamos modelando. Cabe asumir que esta variable ciertamente crece con el ingreso, y que no es idéntica a una demanda energética entendida en un sentido más abstracto. De manera resumida, luego de

sustituir la dependencia de la demanda energética en (6) cabe entonces asumir una relación funcional definitiva para el consumo de leña del tipo siguiente:

$$x_i^L = g_i(p_A, p_L, \theta, \sigma, \eta) \quad (7)$$

En la expresión (7) el consumo de leña de un hogar está determinado por variables económicas (precios de la leña y de combustibles alternativos), características del hogar, tipos de equipos que posee el hogar y la forma de operarlos, y variables de localización geográfica y otras relacionadas.

4.2. Resultados sobre análisis descriptivo de las bases de datos “Encuesta de consumo energético para calefacción y cocción en el sector residencial” y otras relevantes.

Para efectos del análisis del consumo de leña, se utilizaron las dos fuentes de información proporcionadas por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA). La primera base de datos es el resultado de la aplicación, por parte de la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de La Construcción (CDT), del instrumento denominado “*Encuesta consumo de combustible para calefacción y cocción*” en 6 distritos de la zona central de Chile. La segunda base corresponde a la aplicación del mismo instrumento, por parte de la Universidad Austral de Chile (UACH) en 3 distritos de la zona sur del país. Si bien el instrumento aplicado difiere en cierta medida en ambos estudios, ambas versiones comparten los mismos principios, lo que hizo posible que después de un proceso de refinamiento, la información proveniente de ambas fuentes pudiera consolidarse en una única base de datos.

Con el objetivo de homogeneizar la información, se siguieron tres etapas. En primer lugar, se realizó una revisión exhaustiva, pregunta a pregunta, de ambas bases de datos, y se generó un código único que permitiera identificar cada una de las variables en ambas bases de datos. Debido a que las bases CDT y UACH contenían 2445 y 766 observaciones, respectivamente, al finalizar este proceso se generó una base consolidada con 3211 observaciones, que dado los factores de expansión proporcionados, representaban 810623 hogares aproximadamente. En segundo lugar, se procedió a analizar la distribución de los hogares en zonas urbanas y rurales. Debido a que la base UACH contiene información de encuestas aplicadas solamente en zonas urbanas, mientras que la encuesta CDT contiene información de zonas urbanas y rurales, se decidió prescindir de la

información relativa a 450 hogares que habitaban la zona rural en la base CDT para que la base agregada fuese homogénea. De esta manera, la población de interés quedó definida como hogares que habitan áreas urbanas.

Finalmente, se procedió a evaluar si los hogares encuestados eran usuarios de leña. Para tal efecto, se definió como usuario de leña a “*aquellos hogares en la zona urbana que cuentan con al menos un equipo a leña para calefacción y/o cocción*”, siendo esta la población objetivo considerada. Al aplicar este criterio, se eliminaron 744 observaciones de la base CDT y 32 observaciones de la base UACH.² De esta manera, la muestra final para el análisis del instrumento consiste de 1.985 observaciones, las cuales representan un total de 476.822 hogares.

El uso de ponderadores en el análisis econométrico es una decisión no trivial debido a una serie de razones. En primer lugar, los ponderadores generalmente representan la totalidad de hogares en un estrato, pero no necesariamente son una buena proxy de la distribución de los usuarios de leña y sus características en una zona geográfica determinada. En segundo lugar, el hecho de que los ponderadores utilizados en la base CDT tienen la comuna como unidad de referencia, mientras que la unidad de referencia la base UACH es la ciudad pone en duda la pertinencia de su inclusión al hacer referencia a unidades heterogéneas. En tercer lugar, si bien los estimadores utilizados para explicar el consumo anual de leña de los hogares (cuyos resultados se informan más adelante) permiten utilizar factores de expansión, su uso no es posible en el caso de los modelos mensuales debido a que el método empleado³ (dada la naturaleza de la información) genera estimadores eficientes en ausencia de ponderadores.⁴ Debido a lo anterior y dadas las características de los estimadores utilizados, los modelos anuales serán representativos a nivel de la zona urbana de cada distrito, mientras que los modelos mensuales serán representativos de la

² Si bien la información disponible permite diferenciar los hogares entre usuarios y no-usuarios de leña, el hecho de que el instrumento no fue diseñado con el objetivo de investigar la probabilidad de que un hogar sea usuario de leña impide estimar una regresión que explique las características de los usuarios, ya que en este caso se incurriría en un sesgo de especificación por variables omitidas.

³ Como se explica detalladamente en las secciones siguientes, debido a que el instrumento fue administrado en un solo momento del tiempo, al momento de realizar las estimaciones mensuales, un gran porcentaje de las variables utilizadas permanecen fijas en el tiempo. Lo anterior obliga a que los modelos de consumo mensual tengan que ser estimados usando un estimador de efectos aleatorios. Debido a los supuestos inherentes de este estimador, no es posible incorporar en el análisis ningún tipo de ponderador, en cuyo caso estos modelos son sólo representativos de la muestra de hogares encuestados.

⁴ El objetivo del modelo de efectos aleatorios es estimar la media de la distribución de los efectos individuales. Debido a que cada observación provee información con respecto a un efecto de tamaño diferente, es necesario asegurarse que el tamaño de cada efecto sea representado en el estimador final. Por consiguiente, no es posible ponderar el efecto individual de una observación al asignar un mayor o menor peso muestral, tal y como sucede en el caso del estimador de efectos fijos (Borenstein et al., 2009).

muestra de hogares. Sin desmedro de lo anterior, los ponderadores serán incluidos en el análisis de predicción, donde la unidad de análisis es el estrato.

La distribución espacial de los usuarios de leña en las zonas geográficas encuestadas (estrato de muestreo) se presenta en la Tabla 1. Asimismo, la distribución de los hogares en las distintas comunas de residencia es presentada en la Tabla A1, en el anexo de estadísticas descriptivas (Anexo A).

Tabla 1. Información por estrato de muestreo

Estrato de muestreo	Frecuencia		Hogares representados (usando factor de expansión)	
Valle de Cachapoal	178	9%	81.261	17%
Curicó	177	9%	16.636	3%
Talca - Maule	160	8%	36.310	8%
Chillán - Chillán Viejo	238	12%	41.519	9%
Gran Concepción	217	11%	169.077	35%
Los Ángeles	281	14%	35.432	7%
Valdivia	293	15%	37.941	8%
Osorno	325	16%	43.379	9%
Coyhaique	116	6%	15.268	3%
<i>No. observaciones</i>	1.985		476.822	

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que nuestra definición de usuario a leña está directamente relacionada con la posesión de equipos a leña para calefacción y cocción, independientemente de la cantidad de leña adquirida en el periodo en estudio, es de esperarse que exista un porcentaje de hogares que no haya adquirido leña, es decir, que tenga demanda cero. Al revisar la base de datos consolidada, es posible observar que un 6.4% de los usuarios (127 hogares) no adquirió leña en el año 2013. Razones para tener una demanda cero pese a ser usuario de leña incluye la posibilidad de recoger leña desde un lugar cercano, haber recibido leña por parte de una tercera persona, etc. Si bien el porcentaje de hogares con demanda cero es pequeño con relación al total de los usuarios, esta característica de la cantidad adquirida de leña debe ser tenida en consideración al realizar el análisis

econométrico del consumo de leña.⁵ Asimismo, al considerar los usuarios que adquirieron leña en el año 2013, se puede observar que el hogar promedio consume 5000 kg de leña aproximadamente, y que gran parte de la distribución del consumo de leña se encuentra concentrada alrededor de los 1000 kg/año. En otras palabras, el 90% de los hogares consume a lo más 10000 kg/año de leña, mientras que un 10% de los hogares presenta un consumo de leña que excede considerablemente esta cantidad, tal y como se presenta en la siguiente Figura 1.

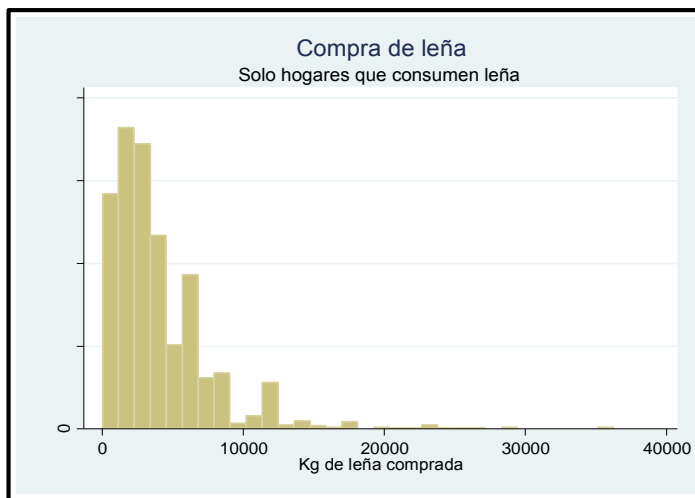


Figura 1. Demanda de leña total

La Figura 2 presenta la distribución espacial del consumo de leña anual en cada uno de las zonas geográficas bajo estudio. Como puede observarse, el consumo de leña es mayor en la zona sur del país con respecto a la zona central, lo cual es de esperarse debido a las diferencias en la temperatura y condiciones geográficas a lo largo del país. Esta Figura sugiere también que la distribución de la demanda de leña es más concentrada en la zona central, pero es mucho más dispersa en la zona sur.

⁵ Es pertinente recordar que el foco del estudio está puesto sobre el consumo de leña. Si se limita la muestra exclusivamente a los individuos que demandan leña (compran), se estaría sesgando el resultado y se perdería información importante de los hogares que tienen equipos a leña y los usan, pero no compran la leña por distintas razones. Unido a lo anterior, el estudio no permite discriminar la procedencia de la leña utilizada, por lo que es posible incurrir en un error si no se consideran otras formas de obtener la leña. En consecuencia, al observar una cantidad de usuarios con demanda cero, la distribución del consumo de leña estaría concentrada en cero, por lo que esta variable ya no seguiría una distribución normal. Una de las formas de corregir la distribución es aplicando una transformación logarítmica, la cual permite recuperar el supuesto de normalidad a la vez que preserva el comportamiento de la distribución inicial de la variable.

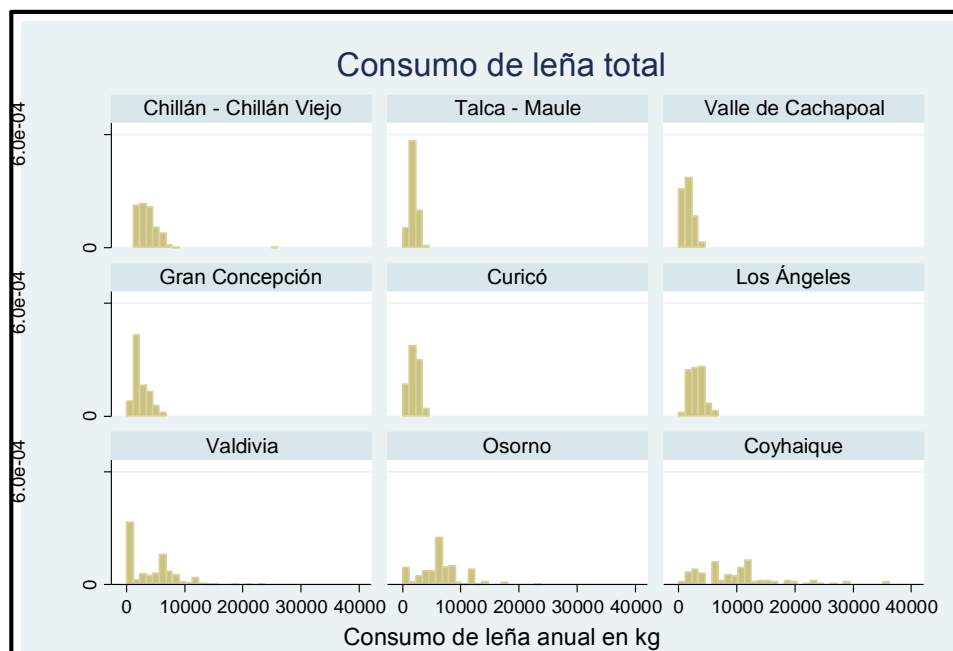


Figura 2. Consumo de leña total por zona geográfica

Además del uso de la leña como fuente de energía, los hogares pueden complementar el uso de la leña con otros combustibles. La siguiente Tabla 2 describe los hogares que usan otros combustibles por estrato de muestreo.

Tabla 2. Hogares que usan solo leña vs. hogares que usan leña y otros combustibles

Estrato de muestreo	<i>Leña y otros combustibles</i>		<i>Solo leña</i>	
	Nº Hogares	Porcentaje	Nº Hogares	Porcentaje
Valle de Cachapoal	176	98,9%	2	1,1%
Curicó	175	98,9%	2	1,1%
Talca - Maule	159	99,4%	1	0,6%
Chillán - Chillán Viejo	234	98,3%	4	1,7%
Gran Concepción	204	94,0%	13	6,0%
Los Ángeles	273	97,2%	8	2,9%
Valdivia	279	95,2%	14	4,8%
Osorno	298	91,7%	27	8,3%
Coyhaique	93	80,2%	23	19,8%
<i>No. observaciones</i>	1891	95,3%	94	4,7%

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla anterior podemos constatar que un gran porcentaje de usuarios utilizan otros combustibles, además de la leña, para la generación de energía en el hogar. También podemos notar que los hogares ubicados en la zona sur son más dependientes de la leña como combustible (utilizan en menor medida otros combustibles como la electricidad, gas y parafina), con respecto a los usuarios que habitan la zona central. No obstante, el porcentaje de hogares que usan más de un combustible sigue siendo considerable, más de un 80%. Se debe recordar que los hogares presentes en esta Tabla son hogares ubicados en zonas urbanas donde el abastecimiento de otros combustibles es en términos relativos más fácil que en zonas rurales.

Dado que el consumo de leña se relaciona fuertemente con la necesidad de calefacción, es de esperar que este consumo varíe entre meses de invierno y verano. Pese a que las encuestas en la que se basa este estudio no preguntan por el consumo mensual, se construyó una variable consumo mensual de leña en base a la intensidad de uso declarada.⁶ La siguiente Figura 3 muestra la distribución de consumo promedio estimado de leña por mes del año para los hogares en estudio.

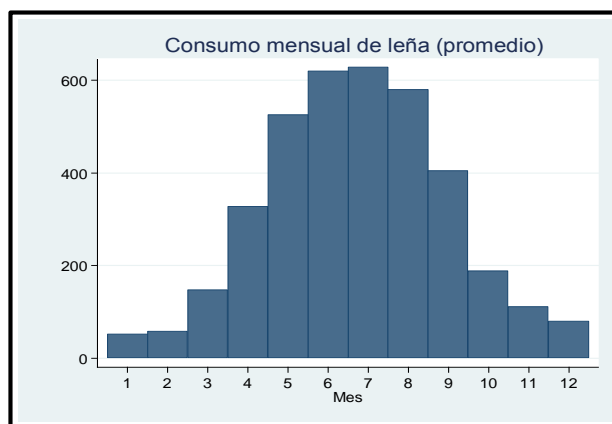


Figura 3. Consumo de leña promedio

De la Figura 3 se puede apreciar que el consumo de leña se concentra mayoritariamente entre mayo y septiembre. Es claro que en Chile los meses señalados son aquellos en los cuales las temperaturas bajan en todo el país; también es sabido que las temperaturas son mucho más bajas al sur del país con respecto a la zona central. Debido a lo anterior es relevante analizar el consumo mensual para los distintos estratos. En el gráfico de la Figura 4 se puede apreciar que la diferencia

⁶ La intensidad de uso de leña declarada por los hogares fue consultada en las encuestas aplicadas. Las preguntas específicas son aquellas identificadas como 26.1-26.2 y 19.1-19.2 en las bases CDT y UACH, respectivamente.

en el consumo entre los meses de invierno y de verano se acentúa en los estratos ubicados en la zona central de Chile, como también dónde las temperaturas bajas persisten durante todo el año, como en Coyhaique, el consumo de leña tiende a permanecer más estable durante todo el año, acentuándose en el invierno pero manteniendo niveles de consumo importante también en los otros meses.

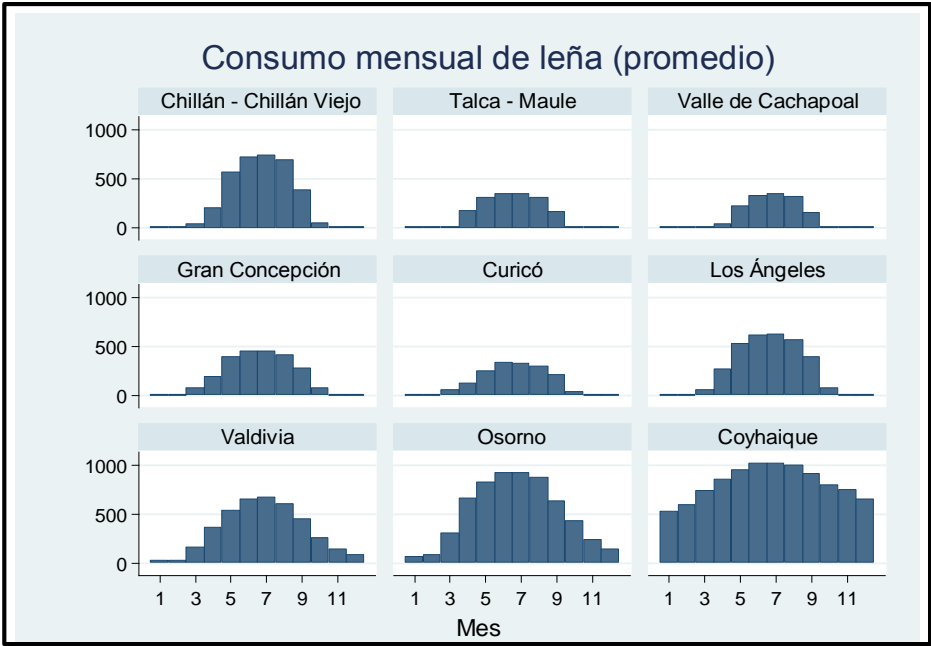


Figura 4. Consumo de leña promedio por zona geográfica

Al referirnos a las condiciones de uso de la leña, una característica importante que repercute directamente en su eficiencia y en la contaminación que genera, es si la leña que se usa es seca y el tipo de madera, nativa o introducida. La Tabla 3 muestra el porcentaje de leña nativa y el porcentaje de leña seca, ambas analizadas por estrato de muestreo.

Tabla 3. Uso de leña nativa y seca por estrato

Estrato	Uso leña Nativa	Uso leña seca *
Valle de Cachapoal	9%	93%
Curicó	24%	84%
Talca – Maule	40%	93%
Chillán - Chillán Viejo	69%	93%
Gran Concepción	22%	83%
Los Ángeles	57%	90%
Valdivia	55%	80%
Osorno	52%	78%
Coyhaique	78%	38%

Fuente: Elaboración propia. * El uso de leña seca fue el reportado por los hogares

De la Tabla 3 se desprende que el porcentaje de leña nativa utilizada varía dependiendo de la zona geográfica. Como es de esperar, dada su abundancia, la leña nativa se utiliza más intensivamente en los estratos de muestreo que están en la zona sur como Valdivia, Osorno y Coyhaique, como también zonas cercanas a bosques nativos como Chillán y Los Ángeles. Por otro lado, es notable el porcentaje de uso de leña seca, que sobrepasa el 80% para las zonas ubicadas al norte de la X región. Naturalmente, este resultado debe ser considerado con cautela, dado el carácter auto-reportado de parte de los hogares que responden la encuesta respecto a la calidad de la leña que consumen.

Tal y como se mencionó anteriormente, en este estudio se considera que los usuarios de leña son aquellos hogares, en zonas urbanas, que tienen a lo menos un equipo a leña. De este grupo de hogares podemos señalar que más del 68% de ellos cuenta con un ingreso líquido mensual menor de \$500.000, y que un poco más del 12% tiene un ingreso superior a \$1.250.000. Una síntesis de los usuarios de leña por categoría de ingreso es presentada en el anexo de estadísticas descriptivas (Anexo A). Continuando con las características socio-económicas de los hogares, la Tabla 4 presenta la distribución del número de integrantes del hogar. Cabe destacar que un 15% de los hogares tiene niños menores de 3 años, mientras que un 45% de ellos tiene adultos mayores; ambos grupos son considerados con alto riesgo de contraer enfermedades respiratorias, por lo que es de esperarse que el consumo de leña sea creciente en el número de integrantes considerados de alto riesgo.

Tabla 4. Distribución etaria de los integrantes del hogar

<i>Menor 3 años</i>			<i>3 - 15 años</i>			<i>16 - 60 años</i>			<i>Mayor 60 años</i>		
Nº	Freq.	%	Nº	Freq.	%	Nº	Freq.	%	Nº	Freq.	%
0	1.697	85,5	0	1.163	58,6	0	253	12,8	0	1.089	54,9
1	250	12,6	1	491	24,7	1	313	15,8	1	481	24,2
2	28	1,4	2	266	13,4	2	624	31,4	2	389	19,6
3	7	0,5	3	53	2,7	3	435	21,9	3	21	1,1
4	1	0,1	4	11	0,6	4	221	11,1	4	5	0,3
>5	2	0,1	>5	1	0,1	>5	139	7,0	>5	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Continuando con el análisis de las características de las viviendas de los usuarios de leña, se tiene que 3,8% de ellos (75 hogares) le da un uso comercial y residencial a su vivienda, mientras que el resto de los usuarios utiliza su vivienda exclusivamente para residir en ella.. Asimismo, se tiene que un 83% de los hogares encuestados cuenta con una vivienda de 15 o más años de antigüedad, un 9.42% de las viviendas tiene entre 8 y 15 años de antigüedad, y sólo un 5.4% de ellas fueron construidas hace menos de 8 años.

Dos indicadores de la materialidad de la vivienda son el valor y el tamaño de la vivienda, siendo este último directamente relacionado con las necesidades de calefacción en el hogar. Con respecto al valor de la vivienda, alrededor del 50% de las viviendas de los usuarios de leña tienen un valor igual o inferior a 1.000 UF, un 20% de ellas tiene un valor comercial entre 1.000 y 2.000 UF, mientras que sólo un 14% de ellas tiene un valor superior a 2.000 UF. Por otro lado, el 30% de los hogares tienen viviendas de menos de 50 M² y un 46% de los hogares tiene viviendas de tamaño entre 50 M² y 100 M²; los hogares restantes tienen viviendas con un tamaño superior a 100 M². En el país existen una serie de políticas diseñadas para modificar el ingreso disponible de los hogares, lo que podría influir positivamente en el consumo de los hogares, y por consiguiente en el consumo de leña. Aproximadamente 10% de los usuarios de leña son beneficiarios de algún tipo de subsidio, siendo el subsidio al agua potable y el bono leña los más importantes.

Luego de presentar el análisis preliminar de algunas variables utilizadas en la modelación, se analizará el comportamiento del consumo de leña con respecto a otras variables. Esta es una primera aproximación al análisis de regresión que se presentará más adelante. Partiremos por la relación entre consumo e ingreso del hogar. La Figura 5 presenta un gráfico del consumo de leña por niveles de ingreso.

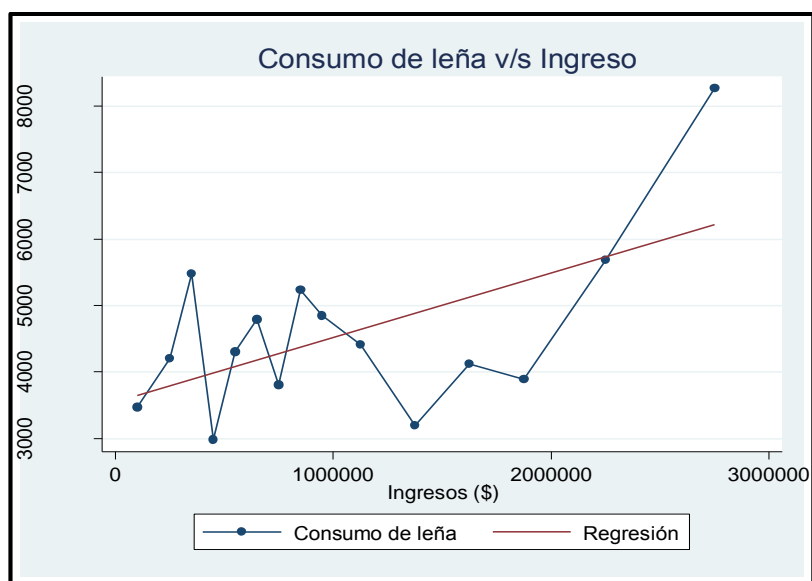


Figura 5. Consumo de leña promedio vs. Ingreso

De la Figura 5 se desprende que existe una asociación positiva entre el ingreso del hogar y el consumo de leña.⁷ Esto quiere decir que la leña es un bien normal y que hogares con mayores niveles de ingresos consumen más leña. Este hallazgo es completamente esperado ya que existe evidencia de que los hogares en los estratos socio-económicos más altos pueden satisfacer su demanda energética sin problemas; asimismo, este grupo de hogares habitan viviendas más grandes y presentan ciertas características que requieren un mayor consumo de leña con respecto a los hogares en estratos socio-económicos más bajos. La Figura 6 presenta la relación entre consumo de leña e ingreso por estrato de muestreo.

⁷ Los puntos en el gráfico corresponden al valor promedio de los intervalos utilizados en el instrumento para medir el ingreso de los hogares. El haber utilizado categorías para hacer esta pregunta, no nos permite tener una variable ingreso de naturaleza continua. No obstante, la forma que se preguntó el ingreso es común en encuestas socioeconómicas.

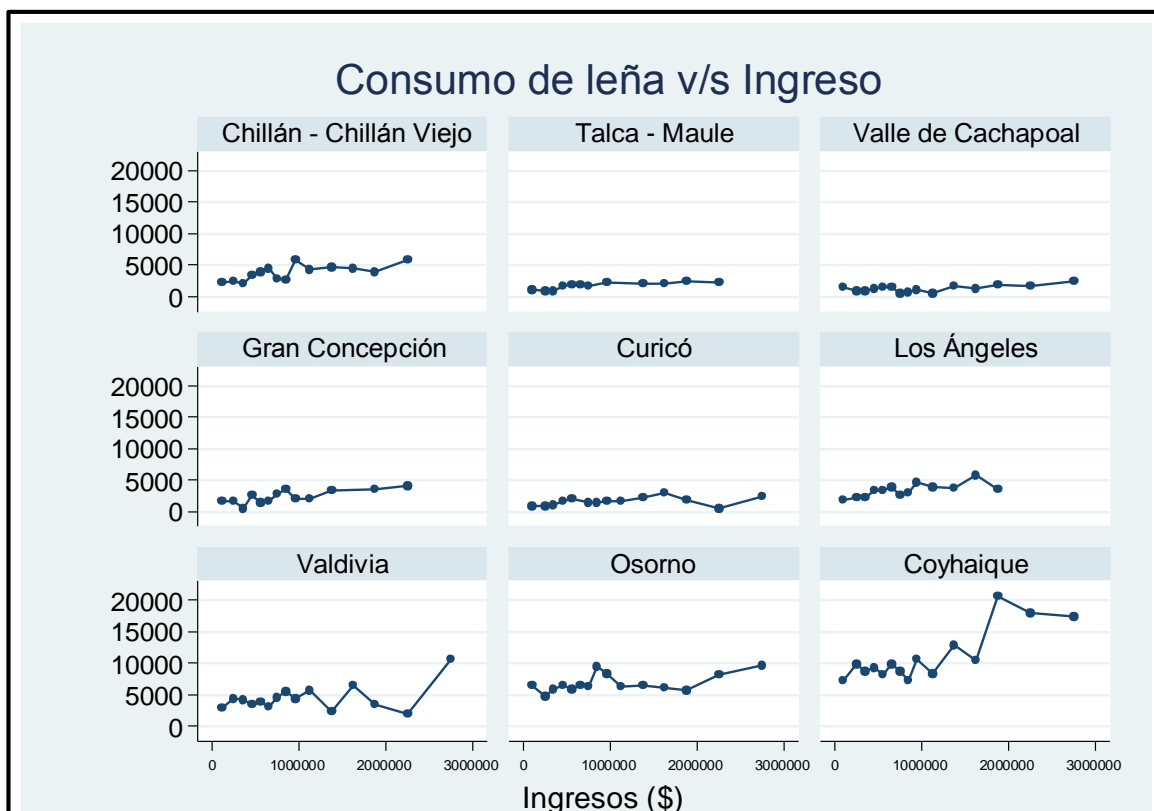


Figura 6. Consumo de leña promedio vs. ingreso por zona geográfica

Como puede observarse, la relación entre ingresos y consumo de leña es más acentuada en las zonas ubicadas al sur de Chile. Los hogares ubicados en la zona central tienen niveles de consumo de leña que no varían en gran proporción con el nivel de ingreso. No obstante, los hogares ubicados en Coyhaique presentan una relación mucho más fuerte con respecto a las demás zonas geográficas. El Anexo A incluye una serie de figuras que exploran esta relación a nivel geográfico a una escala mucho más detallada.

Además del ingreso, un factor relevante para la demanda de leña es su precio. En el presente estudio el precio de la leña es calculado como el precio por kilogramo que enfrenta el usuario de acuerdo al gasto declarado y la cantidad de leña asociada al gasto. Debido a esto, el valor por kilogramo puede variar de un hogar a otro, pese a que el precio de mercado no varíe sustancialmente al interior de una zona geográfica. Otro punto que es importante destacar es que el precio de un bien está determinado por el mercado; por consiguiente, éste debería ser menor en las zonas con mayor disponibilidad del bien. En Chile, la disponibilidad de leña como combustible es mayor en la zona sur. Claramente existen otros factores que interactúan cuando los hogares deciden demandar leña, tal y como lo señala el modelo teórico presentado en la sección anterior.

A continuación en la Figura 7 se presenta la distribución de los precios observados en los hogares encuestados.

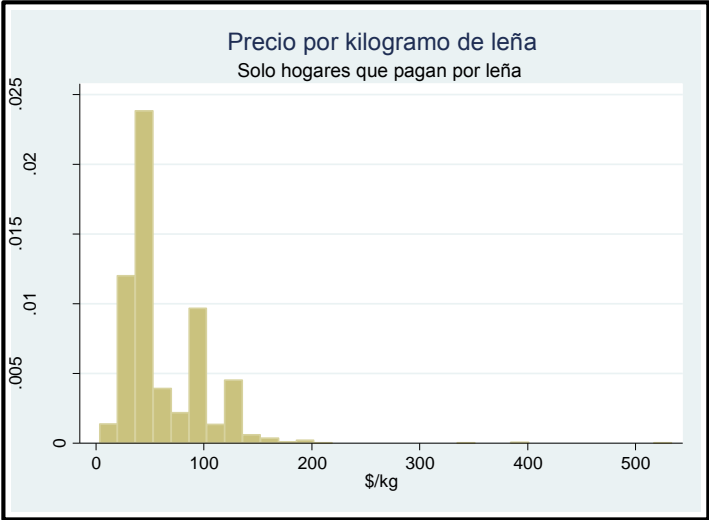


Figura 7. Precio por kg. de leña (usuarios)

Esta figura muestra que el precio por kilogramo presenta peak en distintos puntos de la distribución; esto puede deberse, en parte, a que el número de hogares encuestados difiere de manera importante en las zonas encuestadas.

El modelo teórico presentado anteriormente sugiere también que uno de los factores que determinan la demanda de leña son las condiciones meteorológicas de la zona geográfica que habitan los hogares, siendo uno de ellos la temperatura. La Figura 8 a continuación evidencia una asociación negativa entre la temperatura y la demanda de leña, tal y como se esperaba. Esta relación se cumple para cada una de las zonas en estudio, tal y como se presenta en el anexo estadístico.

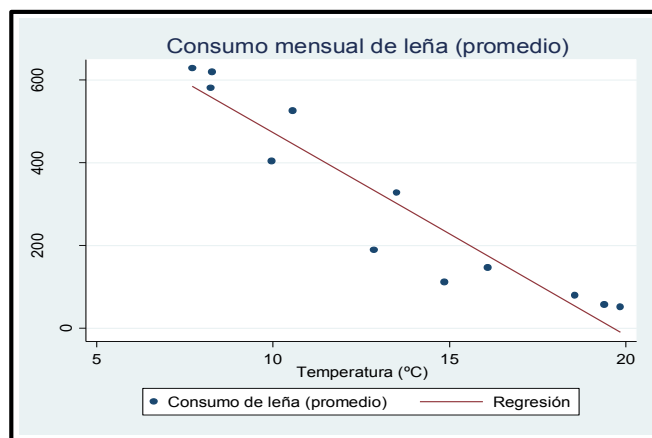


Figura 8. Consumo de leña promedio vs. temperatura

Para concluir, las Tablas 5(a)-5(c) presentan una síntesis de todas las variables utilizadas en las estimaciones econométricas en la siguiente sección.⁸ El Anexo B presenta una descripción detallada de las variables utilizadas en el estudio. Para efectos del análisis exploratorio de los datos, sólo se va a discutir aquellas variables que no han sido descritas hasta el momento. Con respecto a las características de las viviendas, es importante mencionar que sólo un 4% de las ventanas de una vivienda promedio son de termo-panel, y que los hogares tienden a efectuar reformas en la vivienda que mejoren el aislamiento en un único sector de la casa (por ejemplo, en los techos, muros o pisos, o sellado de infiltraciones en general); asimismo, un pequeño porcentaje de los hogares declara tener problemas de hongos en su vivienda, mientras que un número reducido de usuarios almacena leña a la intemperie.

⁸ Si bien algunas de estas variables no fueron finalmente incluidas en la especificación final debido a razones justificadas y discutidas con la CT (por ejemplo, potencial multicolinealidad severa), se decidió mantenerlas en el análisis estadístico ya que entregan información relevante para entender la demanda residencial de leña.

Tabla 5(a). Estadísticas descriptivas (variables utilizadas en las estimaciones econométricas)

VARIABLES	Media	Desv. Estand.	Min	Max
<i>Características socio-económicas y de la vivienda</i>				
No. niños (< 3 años)	0,1738	0,4924	0	8
No. adultos (> 60 años)	0,6761	0,8396	0	4
Ingreso [CLP]	601.650	497.551	100.000	2.750.000
Tamaño de la vivienda [m^2]	80,3491	48,9965	15	500
Antigüedad de la vivienda [años]	16,88	5,232	4	20
Tipo de vivienda [$I = dpto.$]	0,0035	0,0593	0	1
Uso de la vivienda [$I = residencial$ y $comercial$]	0,0378	0,1907	0	1
% de ventanas termo-panel	0,0422	0,1673	0	1
Aislamiento térmico (<i>recientemente</i>) [$I = realizó$]	0,3879	0,9628	0	4
Aislamiento térmico (> 3 años) [$I = realizó$]	0,2720	0,7864	0	4
Almacenamiento [$I = almacena a la intemperie$]	0,0171	0,1298	0	1
Presencia de hongos en la vivienda [$I = posee$]	0,2660	0,4420	0	1

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a las tecnologías de calefacción y cocción en el hogar, puede observarse que, en promedio, los hogares poseen un único equipo de calefacción a leña, mientras que sólo un 23% de los hogares declara utilizar leña como combustible para cocción.⁹ También es importante mencionar que un 95% de los usuarios a leña son también usuarios a gas, y que un 8.9% de los usuarios de leña son también usuarios de parafina, lo que evidencia potenciales complementariedad/substitución entre combustibles al interior de la vivienda. Se tiene también una serie de características que permiten analizar las preferencias de los usuarios con respecto al manejo de los equipos. Al respecto, se tiene que el 61% de los hogares deja el tiraje abierto durante el día, mientras que sólo un 17% lo dejan abierto durante la noche. Sorpresivamente, un 65% de los hogares declara introducir un elemento al interior del equipo para incentivar la generación de energía.

⁹ Si bien el promedio de equipos por hogar es 0.98, el valor de esta variable se encuentra dentro de los rangos esperados. Esto es porque nuestra definición del usuario a leña incluye hogares que usan leña para calefacción o cocción; por lo tanto un usuario podría tener un equipo de cocción a leña y utilizar otro combustible para calefacción. Debido a lo anterior, esta cifra indica que no todos los hogares dentro de la muestra tienen equipos de calefacción a leña, y que algunos hogares solo tienen un equipo a leña destinado a la cocción.

Tabla 5(b). Estadísticas descriptivas (variables utilizadas en las estimaciones econométricas)

VARIABLES	Media	Desv. Estand.	Min	Max
<i>Características de los equipos</i>				
No. equipos de calefacción a leña	0,9884	0,3149	0	3
Eficiencia equipo de calefacción (<i>leña</i>) [<i>I= menos eficiente, 4= más eficiente</i>]	2,2447	0,8982	1	4
Antigüedad equipo de calefacción (<i>leña</i>) [<i>años</i>]	7,5851	7,0344	0	80
Intensidad uso equipo de calefacción (<i>leña</i>) [<i>No. horas/día</i>]	8,7410	5,3516	1	24
Uso de leña para cocción [<i>I = usa</i>]	0,2353	0,4243	0	1
Más de un equipo de cocción (<i>leña</i>) [<i>I = posee</i>]	0,1940	0,3955	0	1
Usuario de equipos (<i>gas</i>) [<i>I = usuario gas</i>]	0,9456	0,2269	0	1
Usuario de equipos (<i>parafina</i>) [<i>I = usuario parafina</i>]	0,0887	0,2843	0	1
<i>Comportamiento</i>				
No. horas de ventilación (<i>día lluvioso</i>)	1,4069	1,7326	0	24
No. horas de ventilación (<i>día soleado</i>)	6,4896	3,9846	0	24
Tiraje (<i>día</i>) [<i>I = deja tiraje abierto día</i>]	0,6065	0,4886	0	1
Tiraje (<i>noche</i>) [<i>I = deja tiraje abierto noche</i>]	0,1708	0,3764	0	1
Agrega elemento al equipo [<i>I = agrega</i>]	0,5647	0,4959	0	1

Fuente: Elaboración propia.

Es importante mencionar que la eficiencia de los equipos y su poder calórico están indirectamente considerados en las variables de eficiencia y uso de los equipos alternativos. Pese a que dichas variables fueron consideradas en el análisis, los datos disponibles no son suficientes para identificar unidades comparables de la leña con respecto a los combustibles alternativos. Debido a lo anterior, tampoco consideramos precios en poderes calóricos, por lo que el análisis estará basado en las series de precios publicados en las estadísticas oficiales. Lo anterior permite realizar un análisis que es compatible con los datos levantados por el MMA, los cuáles no fueron preguntados en términos de poder calórico. Por consiguiente, el efecto de cambios en los precios sobre el consumo de leña debe poder observarse independientemente de las unidades usadas; por el contrario, la comparación de los poderes calóricos reales de los combustibles comprados, se refleja implícitamente en la decisión de compra de los hogares.

Tabla 5(c). Estadísticas descriptivas (variables utilizadas en las estimaciones econométricas)

VARIABLES	Media	Desv. Estand.	Min	Max
<i>Costo combustibles</i>				
Precio leña [CLP]	56,972	40,221	0.000	533,333
Precio parafina [CLP]	628,223	16,497	608,800	658,500
Bono leña [I = beneficiario]	0,0116	0,1070	0	1
Leña recogida o regalada [I = recoge o recibe leña]	0,0071	0,0837	0	1
<i>Características meteorológicas</i>				
Temperatura [Promedio anual/estrato]	19,845	1,526	17,729	21,693
Velocidad del viento [m/s]	1,933	0,261	1,395	2,226
<i>Shocks</i>				
Enfermedad [I = sufrió enfermedad]	0,2866	0,4523	0	1
<i>Información y percepciones</i>				
Olor a leña persistente (hogar) [I = la vivienda huele constantemente a leña]	0,0620	0,2412	0	1
Contaminación no importante (comuna) [I = contaminación no es un problema importante]	0,0962	0,2950	0	1
Insatisfecho calidad del aire (comuna) [I = el hogar está insatisfecho con la calidad del aire]	0,5844	0,4930	0	1
Responsabilidad hogar [I = la contaminación de la comuna es responsabilidad de los hogares]	0,4433	0,4969	0	1
Responsable contaminación (leña) [I = el uso de leña es el responsable de la contaminación]	0,1113	0,3146	0	1
% leña nativa	45,176	45,531	0	100
Usa leña seca [I = declara comprar leña seca]	81,789	34,364	0	100

Finalmente, con respecto a las percepciones de los usuarios en relación a la calidad del aire en su zona geográfica de residencia, se tiene que un 58% de los hogares declara estar insatisfecho o muy insatisfecho con la calidad del aire en su comuna, mientras que un 44% de ellos declara que los hogares son los principales responsables de la contaminación en su comuna.

4.3. Resultados sobre especificación y estimación de modelos econométricos para explicar, con el menor error posible, el consumo residencial de leña.

4.3.1. Estimación modelo de consumo anual

Las bases de datos disponibles para este estudio recogieron el consumo anual de leña junto con otra información de distinta índole. Es por esto que el modelo natural a estimar es un modelo de consumo anual de leña explicado por distintas variables. El modelo teórico ya dio luces de las variables que debieran ser utilizadas, muchas de las cuales fueron medidas con las encuesta y por tanto están disponibles para este estudio.

Previo a la presentación de las estimaciones se comentará el modelo econométrico lineal subyacente. Para comenzar definimos el consumo anual del hogar i , que habita la zona geográfica j como x_{ij} , por lo tanto la especificación econométrica del consumo de leña es

$$x_{ij} = \alpha H_i + \beta w_j + \varepsilon_{ij} \quad (8)$$

donde α es el vector de parámetros a estimar, H_i es un vector de variables explicativas que incluye características socioeconómicas de los usuarios de leña, características de los equipos de calefacción y cocción, precio de los combustibles utilizados para calefacción y/o cocción y variables de comportamiento, información y percepciones del hogar i . β es el vector de parámetros a estimar asociado a w_j , un vector de variables explicativas que incluye la zona geográfica j y características meteorológicas de la zona geográfica j , a la cual pertenece el hogar i . Se debe notar que la especificación econométrica a priori plantea que no es posible explicar por completo el consumo de leña de los hogares a partir de las variables incluidas en los vectores H_i y w_{ij} , es por esto que aparece sumándose el término de error ε_{ij} . El término de error representa en este caso la diferencia entre el consumo de los hogares que no es explicado por las variables contenidas en H_i y w_{ij} .

Los supuestos econométricos respecto al término de error es que se distribuye normal con media cero y varianza constante. Éste último supuesto es también llamado homocedasticidad de los errores. Nombramos aquí los supuestos más relevantes para el objetivo del estudio; un análisis exhaustivo respecto a los supuestos y las soluciones cuando ellos no se cumplen pueden encontrarse en Gujarati (2003). Asimismo, debido a que la variable dependiente (consumo de leña) es positiva y presenta un porcentaje de ceros, su distribución tampoco cumpliría el supuesto de normalidad. Sin embargo, al aplicar una transformación logarítmica, la nueva variable en

logaritmos parece satisfacer de mejor manera este supuesto, además de presentar una mejora en el ajuste del modelo.

El uso del método de regresión lineal permite modelar una amplia gama de relaciones entre la variable dependiente (X_{ij}) y las variables explicativas contenidas en los vectores H_i y w_{ij} . Por lo anterior, los criterios de selección pueden ser diversos y en algunos casos contradictorios. De igual forma, la selección de variables a incluir requiere de un criterio, el cual puede ser estadístico o intencional. Las variables utilizadas en este estudio fueron seleccionadas a partir de un modelo teórico, cumpliendo así con el objetivo del estudio. Por su parte, la evaluación del ajuste de la especificación estimada se basó en las medidas estándar de bondad de ajuste, las cuales son ampliamente utilizadas en los estudios empíricos.

El criterio estadístico inicial para seleccionar variables fue el coeficiente de correlación de Pearson. Este índice va de menos uno a uno donde los extremos significan una asociación perfecta inversa o directa, respectivamente. Mientras mayor sea el índice en valor absoluto, mayor será la relación existente entre las variables. Si pensamos en términos de la información que contiene cada variable, a mayor relación entre dos variables, mayor es la información común que poseen y que pueden aportar a un modelo. En este sentido si dos variables están altamente correlacionadas y una de ellas es incluida en un modelo como variable explicativa, muy probablemente el incluir la otra variable no generará un aporte sustancial al modelo y por esto es preferible no incluirla. Además, al incluir variables explicativas altamente correlacionadas se corre el riesgo de que el modelo presente problemas de multicolinealidad (Gujarati, 2003) en sus variables explicativas. Cabe señalar que el coeficiente de correlación mide la asociación lineal entre dos variables, por lo tanto este coeficiente tendrá poca o nula capacidad de detectar la relación entre dos variables cuando esta relación no sea lineal.

Los criterios estadísticos utilizados para comparar los modelos son el R cuadrado y el R cuadrado ajustado. El primero es un índice de ajuste que cuantifica el porcentaje de la variabilidad de la variable dependiente que puede ser explicado por las variables explicativas del modelo. El R cuadrado ajustado se utiliza para comparar modelos, un mayor valor en este índice significa que el modelo es mejor.

Una vez elegido el modelo se deben hacer algunas pruebas econométricas de validación para conocer si el modelo cumple con los supuestos econométricos señalados previamente. El no cumplir con los supuestos se puede deber a distintas razones y por tanto existen una variedad de

soluciones dependiendo del problema detectado. En este sentido no se hará mención aquí de todos los posibles problemas y soluciones que presenta la literatura sino que se discutirá el problema y la solución propuesta una vez detectada para el modelo final.

Existen varias formas de plantear el proceso de modelación econométrica. La minería de datos es una forma de modelación que busca el mejor modelo que resulte de los datos utilizando criterios estadísticos sin ninguna condición a priori, “dejar que los datos hablen” es el resumen en una oración de este enfoque. Por otro lado, es posible utilizar un enfoque mixto que combine criterios estadísticos e intencionales basados en el conocimiento previo del fenómeno estudiado. Para la modelación del consumo de leña se utiliza un criterio mixto cuyo proceso busca encontrar un modelo simple y efectivo, que permita entender de la mejor forma las variables que determinan el consumo de leña y por sobre todo permita estimar el consumo de leña de la mejor forma posible.

El proceso de modelación parte por seleccionar un conjunto de variables para plantear un modelo inicial, dicha selección se basa en dos criterios. El primer criterio es teórico, incorporar variables que midan los factores que determinan el consumo de leña presentes en el modelo teórico. El segundo criterio es estadístico, se evalúan las variables utilizando el valor absoluto del coeficiente de correlación entre ellas y se descartan de manera inicial aquellas variables con alta correlación con las demás variables. Al momento de decidir entre dos variables se elige una por sobre la otra por su aporte al ajuste del modelo y por su facilidad en la interpretación de su efecto. De esta forma, se pretende obtener un modelo inicial consistente con el modelo teórico, que incorpore la mayor cantidad de información disponible con el menor número de variables, esto último es lo que se llama un modelo parsimonioso.

Luego de la selección del modelo inicial, se evalúa el modelo de acuerdo a sus indicadores básicos. Se evalúa la significancia del modelo en su conjunto (test F de significancia global) y la significancia individual de cada variable (test t de significancia individual). También se observa la bondad de ajuste del modelo (R cuadrado) y se comienza la búsqueda de mejoras.

La base de datos proveniente de las dos encuestas tiene inicialmente más de doscientas variables, muchas de ellas relacionadas entre sí. Por lo anterior, el proceso de búsqueda de un modelo que explique de buena forma el fenómeno estudiado no es fácil. Es por esto que el paso inicial fue seleccionar un conjunto de variables que explicaran el consumo de leña basado en el modelo teórico, esto permitió construir un modelo inicial con un conjunto de variables relevantes. Luego, se utiliza un proceso iterativo donde se propone una variable a incluir y se compara el

modelo sin la variable con el modelo que la incluye de acuerdo al R cuadrado ajustado y el test de Wald. Si los criterios de selección previamente descritos señalan que el modelo mejora al incluir la variable se procede a fijar el modelo y se evalúa otra variable. Cabe señalar que de la misma forma se podría proceder eliminando variables, no obstante, se opta por mantener las variables del modelo inicial puesto que la totalidad de variables tienen relación con factores que comúnmente se han asociado al consumo de leña y el mantenerlos en el modelo permite señalar cuál es su importancia en el consumo de leña, enriqueciendo el análisis que se puede rescatar del modelo.

Para dar más alternativas a la relación entre el consumo de leña y las variables explicativas se construyó y evaluó distintas interacciones entre variables, como la multiplicación del estrato por el precio de la leña para medir la diferencia en el efecto del precio por estrato, la creación de variables regionales para ver si el consumo varía por zonas geográficas de mayor escala que los estratos. Se crearon variables a partir de las disponibles como por ejemplo el cálculo del logaritmo, elevar al cuadrado o extraer la raíz cuadrada. Estas variables adicionales fueron probadas y en su gran mayoría descartadas porque no generaban una mejoría sustancial al tiempo que complejizaban el modelo. También, a petición de la contraparte técnica se construyó el índice Humidex¹⁰, índice que intenta medir el confort térmico al considerar en conjunto la humedad y la temperatura. Esta variable fue descartada debido a que su construcción recaía en la pérdida significativa de datos, dado que utiliza para su construcción la variable humedad que tenía muchas observaciones faltantes.

En lo que respecta al modelo de consumo de leña, se optó por una especificación semi-logarítmica que presentó un mejor ajuste al tiempo que modela de mejor forma los valores cero de los hogares que no demandan leña pese a tener un equipo de combustión a leña.

Luego de contar con el modelo general se realizaron pruebas estadísticas de validación sobre el error estimado asociado. En las pruebas iniciales se observó que los errores no se distribuyen normalmente. Básicamente, existen observaciones cuyo consumo es muy bajo o muy alto respecto al promedio que hace que el error no se distribuya normal. Este genera un problema puesto que invalida las conclusiones que se puedan rescatar de la estimación y de los parámetros estimados. Para evaluar la importancia del problema y como medida correctiva se estimaron dos regresiones con errores robustos. El primero es una estimación robusta a datos influyentes basados en el estimador robusto de Huber. El segundo método es una estimación de errores robustos basado

¹⁰ <http://www.csgnetwork.com/canhumidexcalc.html>.

en el estimador de Huber-White-sandwich cuya robustez se asocia a posibles problemas de heterocedasticidad.

No se evaluó la predicción del modelo anual debido a que no sería utilizado para realizar estimaciones. Para efectos predictivos, se utilizará el modelo mensual. La razón de esta decisión radica en que el modelo mensual que se presenta más adelante tiene mejor ajuste y mejores propiedades estadísticas. Además, el modelo mensual es más rico en términos de las estimaciones al poder obtener estimaciones mensuales de consumo de leña que pueden ser relacionadas a niveles de contaminación y así dar mejor cumplimiento al objetivo planteado. También, dada la naturaleza espacial y temporal del consumo de leña, la cual presenta diferencias entre zonas geográficas y durante los meses del año, es natural esperar que el modelo que mejor explica estas diferencias sea un modelo mensual de panel, ya que las diferencias temporales escapan al alcance del modelo anual. A pesar de lo anterior, el modelo anual puede sin problemas ser utilizado para evaluar el efecto de distintas variables explicativas sobre el consumo anual y por esto se presenta como parte del estudio. Más adelante, una vez presentados los resultados de la estimación del modelo mensual, se podrá constatar que ambos modelos entregan resultados similares en términos de las variables que explican el consumo, claramente guardando las diferencias existentes inherentes a cada modelo estadístico.

A continuación se presenta el resultado del proceso de modelación desarrollado. Para la estimación econométrica de los modelos se utilizó el programa Stata, versión 13. Se presentan conjuntamente el modelo semi-logarítmico consumo de leña final (1) modelo de errores robustos con el estimador de Huber-White-sandwich (2) y modelo robusto de Huber (2).

Tabla 6. Estimaciones del modelo de consumo anual de leña

VARIABLES	(1) Normal	(2) Estimador Huber-White- sandwich	(3) Estimador Huber
<i>Características socio-económicas y de la vivienda</i>			
No. niños (< 3 años)	0.0439 (0.0283)	0.0439 (0.0276)	0.0525** (0.0244)
No. adultos (> 60 años)	0.0571*** (0.0172)	0.0571*** (0.0160)	0.0493*** (0.0148)
Ingreso	2.45e-07*** (3.14e-08)	2.45e-07*** (2.79e-08)	2.25e-07*** (2.71e-08)
Tamaño de la vivienda	0.00132*** (0.000348)	0.00132*** (0.000341)	0.00105*** (0.000300)
Antigüedad de la vivienda	0.0114** (0.00526)	0.0114* (0.00645)	0.00576 (0.00453)
Tipo de vivienda	-0.0862 (0.218)	-0.0862 (0.380)	0.234 (0.187)
Uso de la vivienda	0.00494 (0.0702)	0.00494 (0.0623)	-0.00826 (0.0604)
% de ventanas termo-panel	0.105 (0.0848)	0.105 (0.0870)	-0.113 (0.0730)
Aislamiento térmico (<i>techos</i>)	0.119** (0.0542)	0.119** (0.0500)	0.0712 (0.0466)
Aislamiento térmico (<i>muros</i>)	-0.0530 (0.0622)	-0.0530 (0.0693)	0.0288 (0.0536)
Aislamiento térmico (<i>pisos</i>)	-0.0711 (0.0699)	-0.0711 (0.0696)	-0.101* (0.0602)
Aislamiento térmico (<i>sellado filtraciones</i>)	0.0231 (0.0693)	0.0231 (0.0706)	0.0654 (0.0597)
Almacenamiento	0.0556 (0.101)	0.0556 (0.118)	-0.0309 (0.0870)
Presencia de hongos en la vivienda	0.0113 (0.0325)	0.0113 (0.0291)	-0.0134 (0.0280)
<i>Características de los equipos</i>			
No. equipos de calefacción a leña	0.189*** (0.0515)	0.189*** (0.0567)	0.128*** (0.0444)
Eficiencia equipo de calefacción (<i>leña</i>)	0.0502*** (0.0156)	0.0502*** (0.0158)	0.0131 (0.0134)
Antigüedad equipo de calefacción (<i>leña</i>)	-0.00427** (0.00201)	-0.00427 (0.00294)	-0.00198 (0.00173)
Intensidad uso equipo de calefacción (<i>leña</i>)	0.00873*** (0.00264)	0.00873*** (0.00258)	0.00480** (0.00228)
Uso de leña como combustible para cocción	0.0593 (0.0695)	0.0593 (0.0682)	0.0340 (0.0598)
Más de un equipo de cocción (<i>leña</i>)	0.183** (0.0743)	0.183** (0.0766)	0.200*** (0.0640)
Usuario de equipos gas (<i>calefacción</i>)	0.0247 (0.0413)	0.0247 (0.0352)	-0.0120 (0.0356)
Usuario de equipos parafina (<i>calefacción</i>)	-0.000297 (0.0502)	-0.000297 (0.0446)	-0.0641 (0.0432)
<i>Costo combustibles</i>			
Precio leña	-0.00537*** (0.000393)	-0.00537*** (0.000600)	-0.00382*** (0.000338)
Precio parafina	-0.00257 (0.00163)	-0.00257 (0.00203)	-0.000561 (0.00141)

Leña recogida o regalada	-0.148 (0.174)	-0.148 (0.172)	-0.0543 (0.150)
<i>Características meteorológicas</i>			
Temperatura	-0.0873*** (0.0207)	-0.0873*** (0.0262)	-0.108*** (0.0178)
<i>Comportamiento</i>			
No. horas de ventilación (<i>día lluvioso</i>)	-0.0172** (0.00843)	-0.0172** (0.00851)	-0.00679 (0.00726)
No. horas de ventilación (<i>día soleado</i>)	-0.00199 (0.00361)	-0.00199 (0.00309)	-0.00230 (0.00311)
Tiraje (<i>día</i>)	0.0109 (0.0299)	0.0109 (0.0298)	-0.00710 (0.0257)
Tiraje (<i>noche</i>)	0.0115 (0.0383)	0.0115 (0.0388)	0.0246 (0.0330)
<i>Shocks</i>			
Enfermedad	-0.0377 (0.0305)	-0.0377 (0.0320)	-0.00329 (0.0263)
<i>Información y percepciones</i>			
Olor a leña persistente (<i>hogar</i>)	-0.128** (0.0556)	-0.128* (0.0691)	-0.0715 (0.0479)
Contaminación no importante (<i>comuna</i>)	0.125 (0.105)	0.125 (0.0989)	0.127 (0.0902)
Insatisfecho calidad del aire (<i>comuna</i>)	0.0146 (0.0286)	0.0146 (0.0284)	-0.00748 (0.0246)
Responsabilidad hogar	-0.00834 (0.0281)	-0.00834 (0.0281)	-0.00113 (0.0242)
Responsable contaminación (<i>leña</i>)	-0.0105 (0.0466)	-0.0105 (0.0580)	0.0631 (0.0401)
% leña nativa	0.000767** (0.000335)	0.000767** (0.000351)	0.000461 (0.000289)
<i>Estratos</i>			
Valle de Cachapoal	-1.074*** (0.0837)	-1.074*** (0.0976)	-1.134*** (0.0721)
Curicó	-1.118*** (0.0793)	-1.118*** (0.0879)	-1.115*** (0.0683)
Talca-Maule	-1.032*** (0.0796)	-1.032*** (0.0833)	-1.055*** (0.0685)
Chillán – Chillán Viejo	-0.336*** (0.0753)	-0.336*** (0.0791)	-0.348*** (0.0648)
Gran Concepción	-0.417*** (0.0745)	-0.417*** (0.0861)	-0.551*** (0.0641)
Los Ángeles	-0.135* (0.0757)	-0.135 (0.0858)	-0.196*** (0.0652)
Constante	10.59*** (1.187)	10.59*** (1.465)	9.875*** (1.022)
No. Observaciones	1,776	1,776	1,776
R cuadrado	0.558	0.558	0.641
R cuadrado ajustado	0.547	0.547	-

Nota: Los modelos estimados corresponden a una especificación semi-logarítmica de la demanda de leña anual. El modelo normal se estimó utilizando el estimador de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). Errores estándar se presentan entre paréntesis *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Al final de la Tabla 6 se presentan los indicadores de bondad de ajuste R cuadrado y R cuadrado ajustado, como los tres modelos son iguales en tamaño de muestra y número de variables, el R cuadrado es suficiente para compararlos. Podemos observar que el modelo (1) y (2) presentan la misma estimación de parámetros y el mismo ajuste. La diferencia entre el (1) y (2) es la forma de estimar el error de estándar de los estimadores por esto solo difieren en esto. La estimación (3) difiere completamente porque el método se basa en una ponderación de las observaciones al calcular los parámetros de forma robusta.

En los tres modelos no todas las variables son significativas (variables con un, dos o tres asteriscos), de hecho gran parte de ellas no lo son. Sin embargo, existe una regularidad en las variables significativas, en general las variables que son significativas en el modelo (1) también lo son en el modelo (2) y (3), salvo por ejemplo, las variables No. niños (< 3 años), Antigüedad de la vivienda y Aislamiento térmico (*techos*), que son significativas en solo en uno o dos de los tres modelos. Es de esperar que las variables cambien su significancia debido a que la estimación del error es distinta en cada modelo. Sin embargo, si una variable permanece significativa pese a la forma de estimación, podemos decir que el efecto de esta variable es indiscutiblemente importante para explicar el consumo de leña anual.

Cabe destacar también que se observa consistencia respecto a la dirección del efecto para las variables significativas. Para los tres modelos el signo del parámetro es el mismo. Ahora bien, dada la naturaleza del problema detectado que llevo a la estimación de errores robustos, el modelo más adecuado debe ser el modelo (3).

Al observar el signo de las variables significativas en el modelo (3) se puede notar que: hogares con mayor número de niños o de adultos mayores se estima que consumirán más leña. Lo mismo con el ingreso cuyo signo del parámetro asociado señala que a mayor ingreso mayor consumo de leña. Respecto a las características de la casa sucede algo similar al ingreso, por ejemplo a mayor tamaño de la vivienda mayor es el consumo de leña. No ocurre lo mismo con el aislamiento térmico que señala que los hogares que realizaron aislamiento de pisos presentarán un menor consumo de leña.

Respecto a las características medidas de los equipos, el número de equipos a leña en el hogar, la intensidad de uso del equipo y el contar con más de un equipo de cocción a leña, tienen todas un efecto positivo y significativo sobre el consumo de leña del hogar.

El precio de la leña afecta negativamente el consumo de leña del hogar y el precio de la parafina no es significativo. Esto quiere decir que un incremento del precio de la leña disminuirá su consumo y que el cambio en el precio del combustible alternativo parafina no hará que los hogares consuman más leña. En este sentido la parafina no sería un sustituto de la leña. Cabe señalar que pese a que se cuenta con el precio del gas no se incluyó como variable explicativa porque presentaba correlación alta con las variables del modelo, pero la naturaleza anual de la estimación podría no estar dejando capturar el efecto de dichas variables.

El modelo muestra que a mayor temperatura menor consumo de leña y que es relevante controlar por el estrato. En esto último, pese a no ser un test formal, al comparar las variables dicotómicas por estrato ordenadas de norte a sur, es posible notar un patrón que señala que las zonas más al norte como Valle del Cachapoal (parámetro de la variable -1.134 más la constante) el consumo base (que no depende de las variables incluidas en el modelo) es menor al consumo base de zonas como el gran Concepción o Los Ángeles. Lo anterior se observa al ser menor (mayor en términos absolutos) el coeficiente de la variable dicotómica asociada al estrato ubicado al norte. A medida que nos ubicamos más al sur, la diferencia con la categoría de referencia (Osorno, Valdivia y Coyhaique) es menor.

4.3.2. Estimación modelo de consumo mensual

Con el fin de analizar la variabilidad en el consumo de leña en el transcurso del año, se estimó también un modelo de demanda mensual. Este enfoque permite explorar económicamente la dinámica temporal del consumo, y estimar una especificación que controle por la estacionalidad en la demanda de leña, lo que a su vez permite obtener estimaciones más precisas. En consecuencia, los resultados presentados a continuación pueden entenderse como un complemento a las estimaciones anuales presentadas anteriormente.

Para llevar a cabo este análisis, se utilizó la información disponible con respecto a la intensidad del consumo de leña para calefacción y cocción anual, y se realizaron imputaciones mensuales para cada uno de los usuarios de leña. Tal y como se mencionó anteriormente, en este estudio los usuarios de leña se definen como *“los hogares que están en posesión de un equipo de calefacción o cocción a leña, independientemente de la cantidad de leña adquirida en el año en que se aplicó el instrumento”*. Esta definición permite incorporar en el análisis los hogares que tuvieron tanto un consumo positivo como aquellos que no compraron leña en el periodo estudiado.

En una primera etapa, se sumaron las intensidades de uso de leña mensual para calefacción y/o cocción por parte de los usuarios de leña. Si los hogares reportaban intensidad de uso exclusivamente para calefacción o cocción (pero no ambos), se utilizó la cantidad reportada en el área respectiva. Por el contrario, cuando los hogares reportaban intensidad de uso para calefacción y cocción, se calculó un promedio de ambas intensidades. En una segunda etapa, se identificaron los casos en los que no se reportaba información con respecto a la intensidad de uso por parte de los usuarios en un mes en particular (identificado con valores no-observados), a los cuáles se les asignó el valor de cero. Este procedimiento permite obtener una única variable de intensidad mensual para uso de leña en el hogar. En una tercera etapa, se generó una variable de intensidad de uso anual, que fue calculada al sumar la intensidad de uso durante los 12 meses del año. Finalmente, a partir de las variables de intensidad de uso mensual y anual se calculó el consumo mensual de leña, utilizando la siguiente formula:

$$\text{Consumo mensual}_{ik}^L = \left(\frac{\text{intensidad uso mensual}_{ik}}{\text{intensidad uso anual}_i} \right) * (\text{consumo anual})_i \quad (10)$$

donde: $\text{Consumo mensual}_{ik}^L$ denota el consumo mensual estimado de leña del hogar i en el mes k . En línea con el modelo teórico presentado anteriormente, la especificación mensual a estimar es de la forma:

$$x_{it}^L = \alpha H_{it} + \beta w_{jt} + \mu_t + \gamma_j + v_i + \varepsilon_{it}, \quad (11)$$

Donde: x_{ik}^L representa el consumo mensual de leña del hogar i en el mes t , α es el vector de parámetros a estimar para las variables H_{it} que incluye características socioeconómicas de los usuarios de leña, características de los equipos de calefacción y cocción, precio de los combustibles utilizados para calefacción y/o cocción y variables de comportamiento, información y percepciones del hogar i en el mes t . β es el vector de parámetros a estimar asociado a w_{jt} ; vector de variables explicativas que incluye la zona geográfica j y características meteorológicas de la zona geográfica j en el mes t .¹¹ Asimismo, μ_t denota un conjunto de variables dicotómicas por

¹¹ Debido a que el instrumento a analizar sólo se aplicó en un momento del tiempo, la mayoría de las variables varían a nivel individual pero son fijas en el tiempo. En otros casos, las variables varían en el tiempo y zona geográfica, pero son fijas para los individuos que habitan en una misma zona geográfica.

mes, que controlan por la dinámica del consumo de leña en cada uno de los meses del año, γ_j es un conjunto de variables dicotómicas por zona geográfica, que controla por las diferencias en consumo de leña a lo largo del territorio nacional, v_i representa efectos aleatorios del hogar i , y ε_{it} es el error aleatorio. Debido a que la configuración mensual de los datos presenta una estructura de panel, y debido a que un porcentaje importante de variables no varían en el tiempo, se utiliza un estimador de Efectos Aleatorios (EA) (utilizando el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios, MCO) y se utilizan “errores clúster” a nivel de hogar. El adoptar este tipo de errores permite hacer frente a potenciales problemas de heteroscedasticidad y auto-correlación, que son bastante comunes en este tipo de estimaciones. Debido al reciente desarrollo en los paquetes econométricos, este tipo de errores son frecuentemente utilizados para realizar inferencia estadística en modelos de datos de panel. Esto se debe principalmente a que este tipo de errores permite incorporar en el análisis la posible correlación entre los grupos (corte transversal), la cual, en caso de estar presente, podría generar que los errores estándar sean sub-estimados si no se tiene en consideración esta potencial correlación, evitando así concluir que un efecto es estadísticamente significativo cuando en realidad no lo es (Wooldridge, 2010).

Como se mencionó anteriormente, es importante mencionar también que, pese a las múltiples ventajas de utilizar datos de panel, el modelo de efectos aleatorios no permite el uso de ponderadores (factores de expansión), por lo que el análisis es exclusivamente representativo de los hogares en la muestra (Wooldridge, 2010).

Para la estimación econométrica de los modelos se utilizó el programa Stata, versión 13. Con el fin de evaluar el ajuste inicial del modelo, en una primera etapa, se estimó un modelo agregado, el cual no reconoce la estructura de datos de panel, por lo que trata a las observaciones como si fueran datos de corte transversal repetidos. Posteriormente, se procedió a estimar el modelo de efectos aleatorios, en donde se introduce en el análisis la naturaleza de datos de panel. Finalmente, se estimó un modelo de efectos aleatorios reducido, el cual restringe el análisis a las variables significativas de la especificación general, y que será utilizado para fines predictivos. Para efectos de comparación, todos los modelos usan errores clúster a nivel de hogar. Asimismo, debido a que un 6.4% de los usuarios no demandaron leña durante el periodo en estudio, se tienen algunas observaciones con demanda cero. Tal y como se mencionó anteriormente, debido a que esto introduce cambios drásticos en la escala de valores de la variable dependiente, la literatura sugiere aplicar una transformación que suavice los datos, siendo la transformación logarítmica la

más comúnmente utilizada. En consecuencia, el modelo estimado presenta una especificación semi-logarítmica.¹² Una síntesis del modelo estimado se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7. Estimación de demanda de leña mensual

VARIABLES	(1) Modelo agregado	(2) Modelo EA no reducido	(3) Modelo EA reducido
<i>Características socio-económicas y de la vivienda</i>			
No. niños (< 3 años)	0.0582 (0.0379)	0.0589 (0.0383)	-
No. adultos (> 60 años)	0.107*** (0.0257)	0.109*** (0.0261)	0.101*** (0.0246)
Ingreso	1.28e-07*** (4.68e-08)	1.33e-07*** (4.72e-08)	1.47e-07*** (4.61e-08)
Tamaño de la vivienda	0.00120* (0.000619)	0.00115* (0.000625)	0.000862 (0.000594)
Antigüedad de la vivienda	-0.0133 (0.00817)	-0.0136 (0.00832)	-
Tipo de vivienda	-0.707* (0.422)	-0.708* (0.419)	-0.546 (0.458)
Uso de la vivienda	0.0637 (0.109)	0.0593 (0.109)	-
% de ventanas termo-panel	0.227 (0.157)	0.226 (0.158)	-
Aislamiento térmico (<i>techos</i>)	0.198*** (0.0744)	0.200*** (0.0753)	0.124* (0.0675)
Aislamiento térmico (<i>muros</i>)	-0.0861 (0.0972)	-0.0920 (0.0979)	-
Aislamiento térmico (<i>pisos</i>)	-0.146 (0.126)	-0.143 (0.126)	-
Aislamiento térmico (<i>sellado filtraciones</i>)	-0.0372 (0.128)	-0.0327 (0.129)	-
Almacenamiento	0.260 (0.177)	0.257 (0.180)	-
Presencia de hongos en la vivienda	0.0228 (0.0429)	0.0240 (0.0432)	-
<i>Características de los equipos</i>			
No. equipos de calefacción a leña	0.335** (0.130)	0.339*** (0.131)	0.437*** (0.133)
Eficiencia equipo de calefacción (<i>leña</i>)	0.0471* (0.0262)	0.0486* (0.0266)	0.0524** (0.0235)
Antigüedad equipo de calefacción (<i>leña</i>)	-0.00271 (0.00338)	-0.00258 (0.00344)	-
Intensidad uso equipo de calefacción (<i>leña</i>)	0.0142*** (0.00385)	0.0142*** (0.00389)	0.0131*** (0.00382)
Uso de leña como combustible para cocción	0.616*** (0.149)	0.599*** (0.152)	0.582*** (0.152)
Más de un equipo de cocción (<i>leña</i>)	0.419** (0.164)	0.433*** (0.168)	0.454*** (0.167)
Usuario de equipos gas (<i>calefacción</i>)	0.0921	0.0949	-

¹² Pese a que la especificación semi-logarítmica es la forma funcional seleccionada para este estudio, para efectos de comparación, se estimaron también modelos agregados y de efectos aleatorios para una especificación lineal de la demanda. Los resultados se presentan en la Tabla B1, en el Anexo B. Como puede observarse, existe cierta consistencia en los resultados usando ambas especificaciones.

	(0.0618)	(0.0620)	
Usuario de equipos parafina (<i>calefacción</i>)	-0.0298 (0.0694)	-0.0294 (0.0701)	-
		<i>Costo combustibles</i>	
Precio leña	-0.00258*** (0.000570)	-0.00265*** (0.000575)	-0.00307*** (0.000577)
Precio parafina	-0.0283*** (0.00463)	-0.0283*** (0.00463)	-0.0279*** (0.00456)
Leña recogida o regalada	0.197 (0.299)	0.202 (0.305)	-
		<i>Características meteorológicas</i>	
Temperatura	-0.123*** (0.0191)	-0.123*** (0.0191)	-0.117*** (0.0188)
Velocidad del viento	0.564*** (0.0603)	0.564*** (0.0603)	0.546*** (0.0603)
		<i>Comportamiento</i>	
No. horas de ventilación (<i>día lluvioso</i>)	0.0122 (0.0106)	0.0121 (0.0106)	-
No. horas de ventilación (<i>día soleado</i>)	-0.00406 (0.00500)	-0.00382 (0.00506)	-
Tiraje (<i>día</i>)	0.00923 (0.0451)	0.0114 (0.0457)	-
Tiraje (<i>noche</i>)	0.0540 (0.0568)	0.0509 (0.0573)	-
		<i>Shocks</i>	
Enfermedad	0.0778 (0.0490)	0.0781 (0.0496)	-
		<i>Información y percepciones</i>	
Olor a leña persistente (<i>hogar</i>)	-0.0778 (0.0856)	-0.0724 (0.0869)	-
Contaminación no importante (<i>comuna</i>)	0.177** (0.0697)	0.174** (0.0703)	0.165** (0.0685)
Insatisfecho calidad del aire (<i>comuna</i>)	0.0675 (0.0465)	0.0670 (0.0472)	-
Responsabilidad hogar	0.0341 (0.0421)	0.0354 (0.0426)	-
Responsable contaminación (<i>leña</i>)	0.132* (0.0776)	0.138* (0.0784)	0.185** (0.0771)
% leña nativa	-0.00107** (0.000522)	-0.00108** (0.000529)	-0.00107** (0.000528)
Constante	21.63*** (3.034)	21.62*** (3.034)	21.12*** (2.986)
VARIABLES DICOTÓMICAS			
VARIABLES DICOTÓMICAS (<i>mes</i>)	Si	Si	Si
VARIABLES DICOTÓMICAS (<i>zona geográfica</i>)	Si	Si	Si
No. observaciones	17,928	17,928	18,448
R_cuadrado	0.647	0.6463	0.6443
No. de hogares	-	1,626	1,675

Nota: Los modelos estimados corresponden a una especificación semi-logarítmica de la demanda de leña mensual. La variable dependiente es el logaritmo del consumo de leña. Columna (1) presenta las estimaciones del modelo agregado (Pooled MCO). Las columnas (2)-(3) presentan las estimaciones del modelo de efectos aleatorios, para la estimación no reducida y reducida, respectivamente. El ajuste del modelo agregado es medido a través del R-cuadrado, mientras que para el modelo de efectos aleatorios, se consideró el R-cuadrado para el corte transversal, que analiza la variabilidad en componente transversal de los datos. Errores clúster a nivel de hogar se presentan entre paréntesis *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Como puede observarse, y en línea con el modelo teórico, el consumo mensual de leña está relacionado a una serie de características tanto de los hogares como de las zonas geográficas que ellos habitan. En primer lugar, la cantidad consumida de leña en un mes dado tiene una relación positiva y estadísticamente significativa con el número de integrantes del hogar que son mayores a 60 años, lo cual es esperado ya que este grupo de personas son más vulnerables, por lo que tienen necesidades especiales de calefacción en el hogar. Asimismo, los hogares que tienen mayores ingresos y aquellos que habitan en viviendas más grandes consumen una mayor cantidad de leña con respecto a hogares con menores ingresos o que habitan viviendas más pequeñas. Este efecto es estadísticamente significativo al 1% y 10% respectivamente. Se evidencia también que los hogares que viven en departamentos tienen un menor consumo de leña con respecto a los que habitan en casas.

En segundo lugar, tal y como se menciona en el modelo teórico, el consumo de leña en un mes dado también guarda relación con las características de los equipos disponibles para la producción de energía en el hogar. Como era de esperarse, se evidencia una relación positiva y estadísticamente significativa entre el consumo mensual de leña y el número de equipos a leña para calefacción en el hogar. Asimismo, aquellos hogares que usan los equipos a leña en forma intensiva (un mayor número de horas por día) también consumen una mayor cantidad de leña; este efecto es estadísticamente significativo al 1%. Unido a lo anterior, los hogares que utilizan leña para cocción, y aquellos que tienen más de un equipo de cocción a leña también presentan un mayor consumo de leña con respecto a los hogares que utilizan otro tipo de combustible para cocción; ambos efectos son estadísticamente significativos a un 1% y 5% respectivamente. Contrario a lo esperado, los coeficientes estimados evidencian que los hogares que poseen equipos de calefacción más eficientes consumen más leña. Si bien este coeficiente es estadísticamente significativo solo al 10%, esta tendencia podría indicar que los hogares que invierten en mejores equipos tienen incentivos a usarlos en forma intensiva debido a los potenciales ahorros que se derivan de su adquisición.

En tercer lugar, la demanda mensual de leña también responde a factores monetarios. En particular, el consumo de leña tiene una relación negativa y estadísticamente significativa con el precio de la leña; este efecto presenta el signo y significancia esperados (1%), ya que constituye uno de los principales determinantes de la demanda por leña. Esto evidencia que los hogares responden a las señales de mercado, reduciendo el consumo de leña cuando su precio se

incrementa. Asimismo, las estimaciones sugieren una potencial complementariedad entre el uso de leña y parafina, efecto que es estadísticamente significativo al 1%.

En cuarto lugar, los coeficientes estimados también evidencian que el consumo mensual de leña responde a factores meteorológicos de la zona geográfica que ellos habitan. Específicamente, como era de esperarse, el consumo de leña aumenta cuando la temperatura disminuye; por el contrario, la cantidad consumida de leña tiene una relación positiva con la velocidad del viento. Ambos efectos son estadísticamente significativos a un 1%. Pese a la disponibilidad de información con respecto a otras variables meteorológicas como la humedad relativa y la dirección del viento, ambas variables se encontraban fuertemente correlacionadas con la temperatura y velocidad del viento, por lo que tuvieron que ser excluidas de las estimaciones para evitar estimaciones espurias debido a la presencia de multicolinealidad.¹³

El modelo teórico sugiere también que las preferencias de los hogares con respecto al uso de los equipos también afecta la cantidad demandada de leña. En la mayoría de los casos estas variables son no-observables, por lo que la incidencia de estos factores no es comúnmente documentada. Pese a que el instrumento aplicado incluye una serie de variables que podrían reflejar las preferencias de los hogares, ninguna de estas variables es estadísticamente significativa. Esto podría deberse, por una parte, a errores de medición de estas variables, pero también podría deberse a que las preferencias con respecto al uso de los equipos que afectan el consumo de leña se deben a otros factores que no fueron considerados en el instrumento aplicado. En línea con este hallazgo, pese a ser documentado en la literatura, en el presente estudio no se tiene evidencia de que el haber contraído una enfermedad respiratoria o cardiovascular tenga una incidencia en el consumo de leña. Una posible explicación a este hallazgo es que sólo un 28% de los hogares reportaron haber experimentado una enfermedad respiratoria al momento de la encuesta, por lo que es muy probable que no se pudiera capturar el efecto debido a la limitada variabilidad de la información.

Finalmente, el consumo de leña puede ser afectado por la percepción de los hogares respecto la severidad de la contaminación del aire en la zona geográfica de residencia. Los

¹³ Asimismo, en un intento de explorar de una mejor manera la información meteorológica, se construyó la variable *humidex*. Sin embargo, debido a que la variable humedad relativa posee una cantidad substancial de observaciones perdidas con respecto a la variable temperatura, la interacción de ambas variables eliminaba 5000 observaciones del análisis, lo que excluiría 300 hogares del estudio. Dada la pérdida en la calidad de la información que ello genera, decidimos prescindir de esta variable y concentrarnos exclusivamente en estimar el efecto de la temperatura y la velocidad del viento.

coeficientes estimados evidencian que los hogares que perciben que la contaminación no es un problema importante tienden a consumir más leña con respecto a los hogares que perciben que la contaminación es un problema importante en su comuna; este coeficiente es estadísticamente significativo al 1%. Asimismo, los hogares que perciben el uso de leña como principal influyente en la contaminación de su comuna tienden a consumir más leña con respecto a los hogares que perciben que el uso de leña húmeda y el mal manejo de los equipos de calefacción y cocción son los responsables de la contaminación. Naturalmente, no es posible descartar que aquellos hogares que consumen más leña pueden tener mayor sensibilidad respecto al efecto del consumo de este combustible sobre la contaminación. Este hallazgo podría reflejar que pese a que los hogares perciben que el problema de contaminación por leña es severo, las familias no sienten que sus acciones podrían contribuir a esta problemática en cierta medida. Asimismo, los hogares que reportan comprar una mayor proporción de leña nativa consumen una menor cantidad de leña, lo cual es esperado.

Como puede observarse al revisar las secciones anteriores, existe una correspondencia entre el modelo teórico y los dos enfoques econométricos utilizados.

4.4. Resultados en relación con la aplicación de los modelos econométricos estimados para predecir el consumo de leña por ciudad estrato?, durante el periodo 2009-2013.

Debido a que las estimaciones de las versiones completa y reducida del modelo de efectos aleatorios son conceptualmente iguales, y a que la medida de ajuste de ambos modelos es bastante similar (explicando alrededor del 64% de la variabilidad en la variable dependiente), es posible concluir que el modelo reducido mensual es una buena proxy del modelo completo. Por consiguiente, se determinó que el modelo reducido es un buen punto de partida para llevar a cabo la predicción de la demanda de leña, de acuerdo a lo estipulado en el objetivo específico 2. Unido a lo anterior, el modelo mensual reducido es ciertamente más apropiado para efectos de predicción con respecto al modelo anual, ya que permite explorar la variabilidad temporal de las variables meteorológicas y de calidad del aire, por lo que este modelo fue utilizado para fines predictivos.

Una vez estimada la especificación acordada, se procedió a recopilar información meteorológica y las series de precios de los combustibles para el periodo 2009-2013. Esta información fue combinada con la información de las bases de datos CDT y UACH. La

información disponible en ambas bases de datos fue dividida en dos categorías: (1) variables que por sus características se asumían fijas en el tiempo, en cuyo caso no se efectuó ningún cambio, y (2) variables que varían en el tiempo pero que sólo estaban disponibles en un momento del tiempo, en cuyo caso se construyeron series anuales con base en información disponible en las estadísticas oficiales. Una vez generada la base de datos de predicción, se utilizaron los coeficientes estimados del modelo reducido mensual para predecir el consumo residencial de leña para el periodo en estudio. Una síntesis del consumo de leña predicho es presentada en la Tabla 8.

Tabla 8. Predicción consumo mensual de leña (2009-2013)

Año	Media (Kg)	Desviación estándar	Mediana
2009	199571.2	1023414	9224.99
2010	22233.64	102843.6	1877.943
2011	602.5656	2164.67	104.4793
2012	569.9562	2385.118	55.43544
2013	216.6029	732.0038	27.67624
2009-2013	28036.01	361369.5	169.4838

Fuente: Elaboración propia. Las cifras están expresadas en logaritmo.

Es importante mencionar que debido a la falta de información meteorológica para los distintos estratos/meses durante el periodo de estudio, se tiene una cantidad significativa de observaciones perdidas (36155 observaciones en el caso de la temperatura y 37821 observaciones en el caso de la dirección del viento). En consecuencia, se tiene una variable predicha con múltiples observaciones perdidas, por lo que la calidad de la predicción no es muy confiable. Ello es particularmente cierto al alejarse del periodo base de la predicción (año 2013). Debido a lo anterior, la información presentada en la Tabla 8 debe ser interpretada con cautela. En un intento de mejorar el ajuste, se extrapolo información a los estratos/meses faltantes; sin embargo, debido a que este proceso involucra apoyarse en supuestos muy fuertes debido a la carencia de información, se decidió mantener la serie original con el fin de evitar problemas adicionales de correlación serial, lo cual produciría un estimador aún más ineficiente del que se tiene al no realizar extrapolación. Dada la información anterior, los datos sugieren que el consumo de leña presenta una tendencia decreciente en el tiempo, y que el consumo de leña de los hogares en el percentil 50 tiene un consumo de leña inferior al promedio.

4.5. Resultados del Análisis de la relación entre material particulado y consumo de leña residencial estimado.

Una vez realizada la predicción del consumo de leña para el periodo 2009-2013, se procedió a correlacionar esta variable con las dos medidas de calidad del aire: PM10 y PM25. La tabla 9 presenta los coeficientes de correlación parcial de cada una de las medidas con el consumo de leña, para cada uno de los años en estudio y para el periodo 2009-2013. Como puede observarse, existe una asociación positiva entre el consumo de leña y la cantidad de material particulado.

Tabla 9. Correlación calidad del aire y el consumo de leña predicho

Periodo	PM10	PM25
2009	0.4607	0.5258
2010	0.5008	0.4683
2011	0.5138	0.4394
2012	0.5391	0.5623
2013	0.5979	0.6884
2009-2013	0.1134	0.1178

Fuente: elaboración propia

Con el fin de incorporar la dinámica del uso de leña en el transcurso del año, se estimó un modelo de Efectos Fijos (EF) para cada uno de los índices de calidad del aire. Los resultados de las estimaciones se presentan en la Tabla 10. Como puede observarse, existe una relación positiva y estadísticamente significativa entre el consumo de leña residencial por estrato y los índices de la calidad del aire en la zona geográfica correspondiente. Si bien esta relación es estadísticamente significativa al 1% al considerar cada uno de estos índices, la magnitud del impacto es superior en el caso del PM25, corroborando la información entregada por el coeficiente de correlación parcial. Dada la discusión planteada en la sub-sección anterior, debido al ajuste precario de la variable consumo de leña durante el periodo 2009-2013, estos resultados deben ser analizando con cautela, enfocándose más bien en la dirección y significancia del efecto, más que en su magnitud.

Tabla 10. Determinantes de la calidad del aire (2009-2013)

VARIABLES	(1) pm25	(2) pm10
Consumo leña	2.75e-07*** (5.33e-08)	9.18e-08*** (1.82e-08)
2010	26.87** (8.711)	3.468 (5.242)
2011	29.20*** (5.750)	8.605* (4.096)
2012	24.25** (7.295)	24.90** (9.755)
2013	14.97** (5.387)	14.36*** (4.115)
Constante	21.98*** (5.000)	48.63*** (3.598)
<i>Obs.</i>	270	325
R-cuadrado	0.053	0.058
No. estratos	8	9

Nota: Los modelos estimados corresponden a una especificación lineal de la calidad del aire. Errores clúster a nivel de estrato se presentan entre paréntesis *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

4.6. Resultados de la Comparación del consumo de leña calculado en base a las encuestas CDT y UACH y el consumo de leña presente en la encuesta CASEN 2013.

En relación a esta actividad procedimos a realizar una comparación detallada de las preguntas y medición utilizadas en cada instrumento de medición. Posteriormente, procedimos a realizar un análisis de comparación del consumo de leña anual estimado a través de los instrumentos bajo análisis.

La encuesta CASEN 2013 consulta sobre consumo de leña en tres instancias/preguntas. Primero, en el módulo de ingresos, pregunta 5, pág. 22, se pregunta al encuestado: “En el mes pasado, ¿recibió en su trabajo principal alguno de los siguientes beneficios? Por favor, no incluya los elementos que le entregan exclusivamente para la realización de su trabajo. Sólo incluya aquellos que le entregan para su uso privado. ¿Me puede indicar, el **monto estimado en pesos...**?” Entre las alternativas de respuesta se incluye “Leña u otro combustible de uso doméstico”. Esta pregunta provee evidencia parcial sobre disponibilidad de leña en el hogar durante el mes anterior al de aplicación del instrumento. Sin embargo, debido a que la magnitud entregada sobre el valor

en pesos del beneficio recibido engloba varios combustibles domésticos en su conjunto, y no solo a la leña en específico, no es posible establecer una comparación válida respecto a la información que provee la encuesta de consumo energético para calefacción y cocción en el sector residencial.

Segundo, la encuesta CASEN 2013 consulta también sobre autoconsumo de leña. Específicamente, en el módulo de ingresos, pág. 28, pregunta y17, se consulta al encuestado lo siguiente: “En los últimos 12 meses, ¿consumió productos agropecuarios producidos o recolectados por el hogar? Por favor, estime el monto que hubiera tenido que pagar”. Entre los productos considerados se incluye leña. Sin embargo, lamentablemente, no es posible separar el autoconsumo de leña respecto de otros productos, incluyendo carnes, lácteos, huevos, productos de la huerta, productos del mar, otros alimentos, etc. porque se considera el monto total del valor del autoconsumo. En tal sentido la información que provee la CASEN 2013 sobre autoconsumo que pudiese incluir leña no puede ser utilizada para fines comparativos con la que se obtiene de preguntas directas relativas al consumo de leña en las encuestas levantadas por el MMA.

Tercero, la encuesta CASEN también considera dos preguntas más específicas referidas al consumo anual de leña. En el módulo vivienda, en la página 53, la pregunta v36 indica “**En el último año, ¿ha usado leña** en su hogar?”, con respuestas posibles sí/no. Enseguida, la pregunta v37, dice: “En el último año, ¿cuántos kilos de leña?. Se sugiere, además, que el encuestado considere equivalencias aproximadas. En principio la información recabada sobre el consumo de leña en estas dos preguntas de la encuesta CASEN 2013 puede servir de base para comparar con los datos de la "Encuesta de consumo energético para Calefacción y cocción en el Sector residencial".

Para realizar el ejercicio comparativo sobre los valores consumo en ambas encuestas se calculó el promedio de leña consumida en cada uno de los estratos definidos en la encuesta encargada por el MMA. El promedio se construyó para ambas encuestas considerando solamente hogares urbanos que declararon un consumo de leña positivo, y teniendo en cuenta los factores de expansión correspondientes en cada contexto. Como la encuesta CASEN 2013 tiene representatividad a nivel comunal, se aglutinaron las comunas correspondientes a un mismo estrato para calcular el promedio de consumo en el caso de esta encuesta. Los resultados del promedio de consumo anual por cada estrato se presentan en la siguiente Tabla 11.

Tabla 11. Consumo anual promedio de un hogar en cada estrato

Estrato	CASEN 2013 (kg)	Encuesta MMA (kg)	Variación (%)
Chillán - Chillán Viejo	2.760	3.372	+ 22%
Talca - Maule	1.498	1.714	+ 14%
Valle de Cachapoal	1.628	1.441	- 11%
Gran Concepción	1.186	2.448	+ 106%
Curicó	1.717	1.652	- 4%
Los Ángeles	2.064	3.135	+ 52%
Valdivia	4.374	6.055	+ 38%
Osorno	5.256	6.686	+ 27%
Coyhaique	10.806	9.931	- 8%

Los resultados del análisis comparativo sugieren marcadas diferencias en el consumo anual de leña por hogar medido por los diferentes instrumentos. En nuestra opinión la comparación entre los resultados de ambos instrumentos se hace difícil por varias razones.

La primera diferencia que salta a la vista entre ambas encuestas es que toman como referencia años distintos. La CASEN 2013 se aplicó en ese año y se refiere a ese año, y la encuesta levantada por el MMA se realizó el año 2014 y consulta mayormente el consumo de ese año. Como algunas variables asociadas a condiciones cambiantes anualmente, por ejemplo el precio de la leña, la temperatura, etc., son representativas para explicar el consumo de leña es ciertamente esperable que la diferencia de años en la aplicación de las encuestas conlleve a respectivas diferencias en el consumo observado atribuibles en parte a la influencia de estas variables anuales.

Una segunda diferencia de tipo metodológico, y probablemente más significativa, es que la consulta sobre el consumo anual de leña se estructura de manera muy distinta en ambas encuestas. En la encuesta CASEN 2013 se le consulta al entrevistado sobre el uso de leña en el último año presentándole un total de ocho unidades de medida, a saber, incluyendo, “Metro estéreo (M3) con astillones o sin trozar (604 kilos)”, “Metro estéreo (M3) con astillas o en trozos (578 kilos)”, “Metro estéreo (M3) granel (sin ordenar) (362 kilos)”, “Triciclo (232 kilos)”, Metro lineal (151 kilos)”, “Carretilla (94 kilos)”, “Saco (39 kilos)” y, “Canasto (36 kilos)”.

En las encuestas CDT y UACH se pregunta por cantidad consumida, valor unitario, y fecha para un total de 14 formas de compra, las cuales se asocian de manera explícita a 14 unidades de medida. Por ejemplo, mientras las encuestas CDT y UACH consideran “Camionada”, tal unidad de medida no está incluida en la CASEN 2013. En esta última, además, se considera solamente un

tipo de saco, mientras que en las encuestas CDT y UCH se consideran tres tipos de sacos con diferentes unidades de medida.

En nuestra opinión las marcadas diferencias en las unidades de medida de la compra de leña, que son el instrumento elegido para estimar el consumo, tienden a generar una desviación insalvable entre ambas mediciones, y que pueden estar explicando los resultados obtenidos en la comparación de valores de consumo promedio por estrato.

4.7. Resultados de la Propuesta de simplificación al instrumento de encuesta sobre consumo residencial de leña.

En este estudio se construyó un modelo econométrico basado en las variables relevantes de la "Encuesta de consumo energético para Calefacción y cocción en el Sector residencial". Posteriormente se propuso un modelo predictivo reducido que considera un número menor de variables teniendo en cuenta la significancia de las mismas y el rol que cada variable tiene en la eficacia de la predicción (ver Tabla de modelos reducidos). Algunas de las variables que quedaron en los modelos reducidos (tanto anual como mensual) tienen una naturaleza ajena a la encuesta, por ejemplo la temperatura, el precio de la parafina, etc. Para considerar entonces una encuesta simplificada que solo consulte por variables claves con vistas a estimar el consumo mensual o anual, se debe considerar las siguientes variables.

Tabla 12. Variables a medir con la encuesta simplificada

Variable	Descripción
No. niños (< 3 años)	Número de niños menores de 3 años en el hogar
No. adultos (> 60 años)	Número de adultos mayores de 60 años en el hogar
Ingreso	Ingreso mensual del hogar (<i>Pesos chilenos/mes</i>)
Tamaño de la vivienda	Superficie de la vivienda (m^2)
Antigüedad de la vivienda	Número de años desde la construcción de la vivienda
Tipo de vivienda	Variable dicotómica: 1 = departamento; 0 = casa
Aislamiento térmico (<i>techos</i>)	Variable dicotómica: 1 = realizó acondicionamiento térmico en techos hace menos de 3 años; 0 = en otro caso.
No. equipos de calefacción a leña	Número de equipos de calefacción a leña en el hogar
Eficiencia equipo de calefacción (<i>leña</i>)	Ranking de eficiencia del equipo principal de calefacción a leña: 1 = salamandra, hechizo; 2 = cámara simple; 3 = cámara doble; 4 = caldera.
Antigüedad equipo de calefacción (<i>leña</i>)	Número de años de antigüedad del principal equipo de calefacción a leña
Intensidad uso equipo de calefacción (<i>leña</i>)	Número de horas diarias de uso del principal equipo de calefacción a leña
Uso de leña como combustible para cocción	Variable dicotómica: 1 = utiliza leña como combustible para cocción; 0 = en otro caso.
Más de un equipo de cocción (<i>leña</i>)	Variable dicotómica: 1 = se tiene más de un equipo de cocción a leña en el hogar; 0 = en otro caso.
Precio leña	Monto mensual/anual gastado en leña durante el año 2013.
No. horas de ventilación (<i>día lluvioso</i>)	Número de horas diarias de ventilación en un día lluvioso
Olor a leña persistente (<i>hogar</i>)	Variable dicotómica: 1 = permanentemente se presentan olores a leña o humo al interior de su vivienda; 0 = en otro caso.
Contaminación no importante (<i>comuna</i>)	Variable dicotómica: 1 = la contaminación poco importante o no importante en su comuna; 0 = en otro caso.
Responsable contaminación (<i>leña</i>)	Variable dicotómica: 1 = el uso de leña en general es el responsable de la contaminación de la comuna; 0 = en otro caso.
% leña nativa	% de leña nativa utilizada para calefacción y/o cocción.

Para medir este conjunto de variables se ha elaborado, en base a la "Encuesta de consumo energético para Calefacción y cocción en el Sector residencial" un instrumento simplificado de solo 18 preguntas, que permite alimentar el modelo predictivo reducido y comparar los resultados de variables claves para la versión inicial de la encuesta.

A) Información Preliminar							
a) Nombre de la comuna		b) Zona geográfica 1. Urbano <input type="checkbox"/> 2. Rural <input type="checkbox"/>					
1. Dirección de la vivienda Calle: _____ N° _____ Población/Villa _____ Depto N° _____							
2. ¿Su vivienda tiene uso residencial (entre otros posibles)? (marcar sólo una alternativa) <input type="checkbox"/> 1 Si <input type="checkbox"/> 2 No		3. Tipo de Vivienda (marcar sólo una alternativa) <input type="checkbox"/> Departamento <input type="checkbox"/> Casa					
4. ¿Es usted el jefe de hogar o cónyuge? <input type="checkbox"/> 1 Jefe de hogar <input type="checkbox"/> 2 Cónyuge <input type="checkbox"/> 3 Otro		Encuestador: Si es categoría "OTRO", agradecer y terminar					
B) Item Hogar y Vivienda							
5. Cuántas de las personas que habitan en su hogar tienen ...? 3 años o menos <input type="checkbox"/> 60 años o mas <input type="checkbox"/>		6. ¿Cuál es el ingreso líquido mensual total del hogar? Por favor mire la cartilla e indique la letra que más se acerca a su ingreso <input type="text"/>					
7. ¿En qué fecha fue construida su vivienda? (marcar sólo una alternativa) <input type="checkbox"/> 1 Antes del año 2000 <input type="checkbox"/> 2 Entre los años 2000 y 2007 <input type="checkbox"/> 3 Después del año 2007 <input type="checkbox"/> 4 No Sabe		8. ¿Cuántos metros cuadrados tiene su vivienda? (Incluya sólo las partes habitables de su casa) <input type="text"/> 1 Menos de 30 mt2. 2 De 30 a 50 mt2. 3 De 51 a 100 mt2. 4 De 101 a 150 mt2. 5 Mas de 150 mt2.					
9. ¿Hace cuanto tiempo realizó un acondicionamiento térmico en el techo de su vivienda? (marcar sólo una alternativa) Menos de 3 años <input type="checkbox"/> Menos de 3 años <input type="checkbox"/> No realiza mantención <input type="checkbox"/> NS/NC <input type="checkbox"/>							
10. ¿Con qué frecuencia y cuanto tiempo ventila su vivienda en un día lluvioso? (marcar sólo una alternativa) Tiempo total de ventilación <input type="checkbox"/> 1 No Ventila <input type="checkbox"/> 2 Una vez <input type="checkbox"/> 3 Entre 2 y 4 veces <input type="checkbox"/> 4 Más de 4 veces Hr <input type="text"/> Min <input type="text"/>							
C) Item Consumo y equipos de combustión de leña.							
11. ¿Se utiliza leña para calefaccionar en su vivienda? (marcar sólo una alternativa) <input type="checkbox"/> 1 No se usa leña <input type="checkbox"/> 2 Se usa un equipo a leña <input type="checkbox"/> 3 Se usan varios equipos a leña. Cuántos? <input type="text"/>		12. Características del principal equipo a leña para calefaccionar 1. Tipo : Código <input type="text"/> 2. Marca - Modelo : Código <input type="text"/> 3. Antigüedad : Años <input type="text"/> 4. Horas de Uso Diaria : <input type="text"/>					
13. ¿Se utiliza leña para cocción en su vivienda? (marcar sólo una alternativa) <input type="checkbox"/> 1 No se usa leña <input type="checkbox"/> 2 Se usa un equipo a leña <input type="checkbox"/> 3 Se usan varios equipos a leña.		14. Características de la leña consumida (por favor, use la cartilla para identificar la leña nativa) % Consumo <input type="checkbox"/> 1 Nativa <input type="text"/> <input type="checkbox"/> 2 Especie Exótica <input type="text"/>					
15. Por favor completar la siguiente tabla indicando el volumen de leña usado el año recién pasado y el costo unitario Mostrar cartillas con imágenes de apoyo.							
A	B	C	D)	A	B	C	D)
Forma de compra	Cantidad	Valor Unitario	Fecha Compra		Cantidad	Valor Unitario	Fecha Compra
1. Camionada.				8. Saco (25 kg)			
2. Metro cúbico sin trozar (604 kg)				9. Saco (15 kg)			
3. Metro cúbico trozado (578 kg)				10. Saco (39 kg)			
4. Metro cúbico a granel (362 kg)				11. Caja			
5. Vara (191 kg)				12. Astilla			
6. Carretilla (94 kg)				13. Camioneta			
7. Canasto (36 kg)				14. Otro: _____			
D) Item Percepción							
16. Respecto a la calidad de aire al interior de su vivienda, ¿se presentan permanentemente olores a leña o humo al interior de su vivienda? (Nota: Aún cuando no hay equipos encendidos en el hogar) <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No							
17. ¿Qué tan importante considera usted que es el problema de la contaminación en su comuna? (marcar sólo una alternativa) <input type="checkbox"/> Poco o nada importante <input type="checkbox"/> Importante o muy importante		18. ¿Considera Usted que el uso de leña en general es el responsable principal de la contaminación de la comuna? <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No					

Cabe destacar que algunas variables ajenas a la encuesta, como por ejemplo la temperatura, se incluyeron en el modelo reducido predictivo (tanto anual como mensual) ya que fueron significativas para explicar el consumo de leña. En tal sentido al aplicar el instrumento con el objetivo de predecir nivel de consumo debe recabarse por otra fuente la información requerida a las variables significativas del modelo reducido no encontradas en la encuesta.

Otro aspecto importante al aplicar el instrumento es la implementación cuidadosa de un diseño experimental que asegure la representatividad de la muestra dentro de la población objetivo de las variables claves, como por ejemplo, el uso de leña, etc.

4.8. Resultados sobre Diseño y desarrollo de un taller de capacitación en econometría.

Finalmente, con base en los objetivos del estudio, se diseñó y desarrolló un curso de capacitación titulado: “*Estimación econométrica de la demanda residencial de leña en las zonas Centro y Sur de Chile: Aspectos teóricos y prácticos*”. Este curso tuvo lugar en la ciudad de Santiago, los días 21 y 22 de enero de 2016. El programa del curso se presenta a continuación en el anexo C.

Este curso contó con la participación de 16 personas, provenientes del Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio de Energía y Ministerio de Desarrollo Social, y tuvo una duración de 16 horas en sala (excluye hora de almuerzo y coffee break). Los relatores fueron los miembros del equipo ejecutor. El registro de asistentes al curso en cada sección es presentado en el Anexo D. Finalmente, los contenidos de las clases teóricas y bases de datos utilizadas en el curso, se entregarán a la CT en formato electrónico como un componente más del informe final.

5. CONCLUSIONES

Para motivar el análisis econométrico subyacente a este estudio se presentó un modelo de decisión sobre los niveles de consumo de leña y otros combustibles alternativos para cubrir la demanda energética (asociada a calefacción y cocción) de un hogar. El modelo teórico discutido es una versión simplificada de un modelo general propuesto por los autores en un reciente trabajo científico. Las diferencias principales del modelo teórico propuesto con el de la literatura se refieren a la influencia indirecta de los niveles de contaminación sobre el consumo de leña y al análisis general de preferencias vía funciones de utilidad.

El modelo teórico planteado asume de manera directa que las decisiones de consumo de leña y otros combustibles alternativos cumplen un criterio de optimalidad, en tanto se orientan a disminuir los gastos asociados a cubrir la demanda de energía. Como resultado del modelo teórico propuesto se obtiene una dependencia funcional de la variable de interés para este estudio (consumo de leña) respecto a varias variables explicativas con naturaleza distinta y asociadas a efectos del hogar (ingreso, aislamiento, equipamiento, etc.) y del entorno (variables meteorológicas, etc.). Al discutir las estimaciones econométricas se dio una forma lineal plausible y simplificada a la relación funcional propuesta en el modelo teórico.

El análisis descriptivo de los datos permite establecer el perfil del usuario de leña, y conocer los factores que determinan su intensidad de uso. En términos generales, los usuarios son hogares que poseen diversos niveles de ingresos, con mayor intensidad en consumo en los ingresos medios, que habitan viviendas relativamente antiguas (mayor a 15 años), y que tienen un porcentaje importante de adultos mayores, los cuales tienen un alto riesgo de contraer enfermedades respiratorias. Estos hogares tienen, en promedio, sólo un equipo a leña para calefacción, y cuentan con aislamiento térmico realizado recientemente en sólo un sector de su vivienda. Pese a que un gran porcentaje de ellos se encuentra muy insatisfecho con la calidad del aire, sólo un pequeño grupo considera que los hogares son los responsables de la contaminación.

En promedio, un hogar consume 5.000 Kg de leña al año, los cuales son destinados tanto para calefacción como para cocción. Mientras los hogares presentan una gran dependencia de la leña para calefacción, la mayoría de los hogares utilizan el gas como combustible principal para cocción. Debido a ello, y dada la variabilidad climática a lo largo del año, el uso de leña tiene una dinámica estacionaria: el consumo aumenta considerablemente en los meses de invierno, y se reduce drásticamente en los meses más cálidos. Asimismo, los hogares que habitan la zona central

son menos dependientes del uso de leña con respecto a los hogares que habitan la zona sur del país, siendo éstos últimos los que utilizan una mayor cantidad de leña nativa y un menor porcentaje de leña seca. El conocimiento de estos factores provee información primordial para el diseño de políticas que permitan abordar la problemática de la calidad del aire en el país.

Respecto a las estimaciones presentadas en este informe, es posible señalar que existe consistencia entre las dos estimaciones, anual y mensual. Cabe mencionar que, pese a que ambas estimaciones se basan en los mismos datos, no es un hecho que ambas estimaciones deben ser completamente consistentes en el sentido que entreguen los mismos resultados. La estimación mensual explota la variabilidad mensual, cuestión que no es posible por el modelo anual y por tanto los resultados pueden diferir. También, la interpretación de los resultados puede ser algo distinta cuando se está mirando el efecto de una variable en el modelo anual, comparado con la misma variable cuando se mira el modelo mensual. No obstante lo anterior, ambos modelos en su conjunto permiten dar una visión más amplia de los procesos detrás de las decisiones de consumo de leña de los hogares estudiados.

Dada la distribución del consumo de leña, se estimaron especificaciones semi-logarítmicas para los modelos anual y mensual. Respecto a la bondad de ajuste de ambos modelos, pese a que los modelos son distintos en esencia y no directamente comparables, es posible notar que el modelo mensual presenta un mejor ajuste: el R cuadrado del modelo anual es de 0,55, mientras que el modelo mensual es 0,64. Debido a que el modelo mensual explota de mejor manera la variabilidad temporal y espacial de la demanda de leña, este resultado era de esperarse.

Respecto al modelo anual, los tres modelos estimados (modelo normal y los dos con errores robustos) muestran que las variables que presentan evidencia estadística robusta para explicar el consumo de leña anual son: "No. adultos (> 60 años)", "Ingreso", "Tamaño de la vivienda", "No. equipos de calefacción a leña", "Intensidad uso equipo de calefacción (leña)", "Más de un equipo de cocción (leña)", "Precio leña", "Temperatura" y las seis variables dicotómicas por estrato consideradas. Además, el modelo tres con errores robustos muestra que la variable "No. niños (< 3 años)" también explica el consumo. Cabe señalar que, dado el problema identificado con los errores del modelo uno, el modelo que debe ser considerado para todos los efectos debe ser el modelo tres. Sin embargo, pese a los problemas de sesgos en la estimación de los otros dos modelos, de igual forma son capaces de identificar la relevancia de la mayoría de las variables mencionadas como importante para explicar el consumo anual.

Se observa también que existe consistencia entre el modelo mensual ajustado y el modelo anual, lo que evidencia que los resultados obtenidos a través de distintas especificaciones son robustos. En particular, existe un conjunto de variables que son significativas en ambos modelos. Las variables significantes que afectan positivamente el consumo de leña son: No. adultos (> 60 años), Ingreso, Tamaño de la vivienda, No. equipos de calefacción a leña, Más de un equipo de cocción (leña), Contaminación no importante (comuna) y porcentaje de leña nativa.¹⁴ Las variables significantes en ambos modelos y que tienen un efecto negativo sobre el consumo de leña son: Precio leña, Precio parafina y Temperatura. Existe también una correspondencia entre las variables significantes del modelo mensual, en sus versiones completa y reducida.

Los coeficientes estimados del modelo mensual restringidos fueron recuperados para llevar a cabo el objetivo de predicción. No obstante, este análisis no está exento de limitaciones. Debido al gran número de observaciones perdidas en las variables temperatura y velocidad del viento, el consumo predicho para el periodo 2009-2013 debe ser analizado con cautela. Debido a lo anterior, y con el objetivo de explorar la asociación entre el consumo de leña y la calidad del aire en un estrato en particular se utilizaron dos métodos diferentes: el coeficiente de correlación y la estimación de un modelo de efectos fijos. Ambos enfoques entregan resultados similares, lo que permite concluir que el uso de leña afecta negativamente la calidad del aire en las zonas geográficas en estudio.

Uno de los objetivos finales del estudio consistía en la comparación del instrumento levantado por el MMA y la encuesta Casen. Debido a aspectos de diseño muestral y representatividad, este estudio concluye que ambos instrumentos no son comparables, y se sugiere una propuesta simplificada del instrumento actual que permitiría comparar el instrumento diseñado por el MMA a través del tiempo.

Finalmente, el último objetivo del estudio consistía en el diseño e implementación de un curso de econometría, que incorporara los principales aspectos teóricos y de análisis necesarios para el entendimiento y replicación de este estudio. Este curso tuvo lugar los días 21-22 de enero en Santiago, el cual contó con la asistencia de 16 funcionarios.

¹⁴ Podría pensarse que esta variable podría estar correlacionada con otras variables del modelo, lo que podría afectar las propiedades e interpretación de los coeficientes estimados. Sin embargo, al calcular los coeficientes de correlación puede observarse que los coeficientes de correlación se encuentran dentro los rangos normales.

6. REFERENCIAS

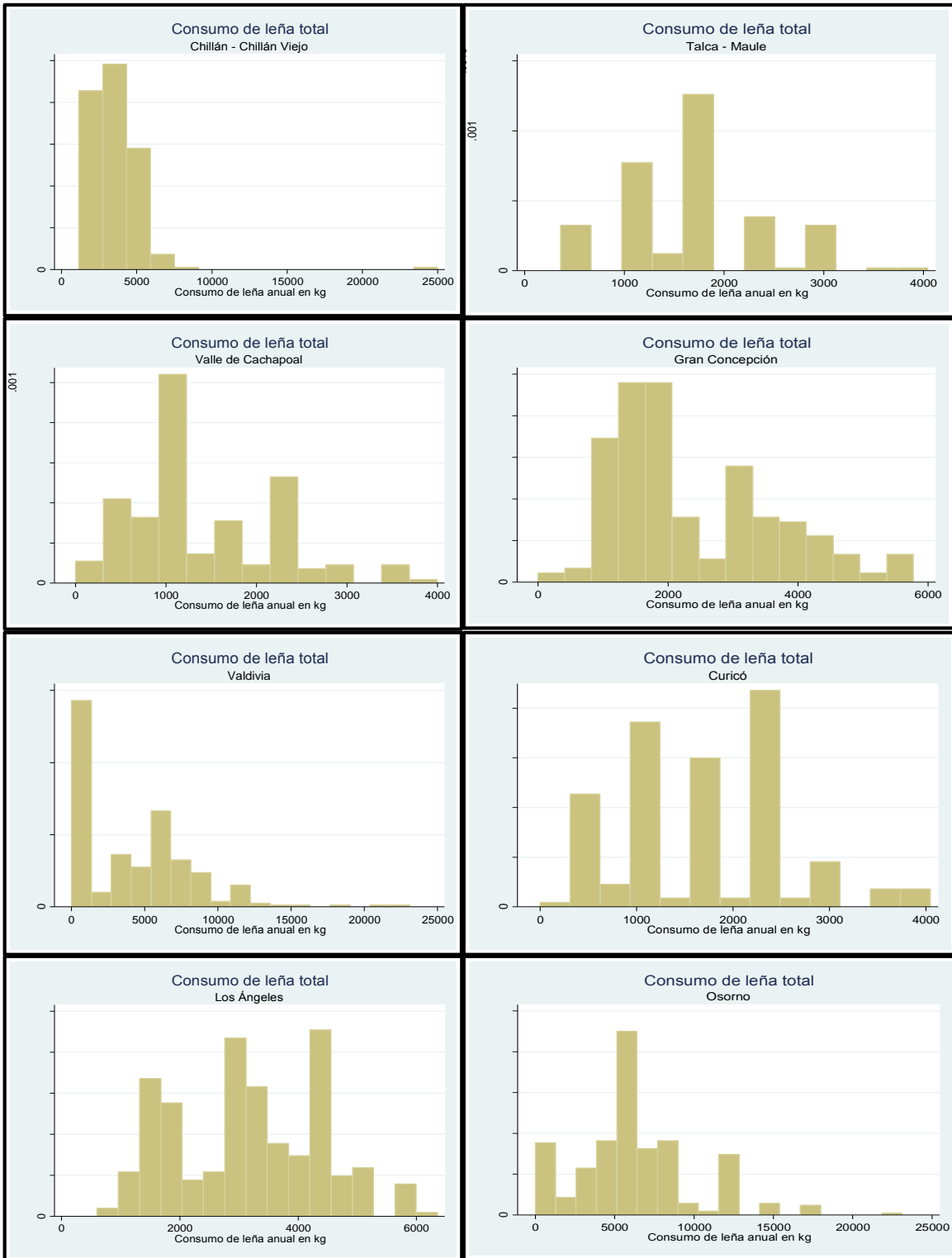
- Borenstein, M., Hedges, L., Higgins, J. and H. Rothstein (2009). "Introduction to Meta-Analysis". John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-05724-7.
- Cameron, C. y P. K. Trivedi (2006): "Microeconometrics Methods and Applications", Cambridge University Press.
- Celis, J., Morales, J., Zaror, C., e Insunza, J. (2004). "Study of the Particulate Matter PM10 in the Atmosphere of Chillán, Chile", *Chemosphere* 54: 541-550.
- Celis, J., Flocchini, R., Carvacho, O., Morales, J., Zaror, C., Insunza, J., y Pineda, M. (2006). "Analysis of Aerosol Particles and Coarse Particulate Matter Concentrations in Chillán, Chile, 2001-2003", *Journal of the Air and Waste Management* 56: 152-158.
- Chávez, C., Gómez, W., Suanes, S. y Briceño, S. (2008): "Diseño y Evaluación de Instrumentos Económicos para Apoyar la Producción, Comercialización y Uso de Leña Seca", Informe Final. Proyecto/Adquisición No 1285-34-A107.
- Chávez, C., W. Gómez y S. Briceño (2009), "Costo-Efectividad de instrumentos económicos para el control de la contaminación por uso de leña: Análisis para Temuco y Padre Las Casas", *Cuadernos de Economía*, Vol. 46 (Noviembre); 197-224.
- Chávez, C., W. Gómez, H. Salgado y F. Vásquez (2010), "Elasticidad precio-demanda de equipos que combustionan leña en las comunas de Temuco y Padre Las Casas", Informe Final, Proyecto/Adquisición No 1285-20-LE09.
- Chávez, C., Gómez, W., Salgado, H. y Vásquez, F. (2011) "Diseño, Implementación y Evaluación de un Programa Piloto de Recambio de Actuales Tecnologías Residenciales de Combustión a Leña por Tecnologías Mejoradas, en las Comunas de Temuco y Padre Las Casas", Informe Final
- Chávez, C., J. Stranlund y W. Gómez (2011), "Controlling Urban Air Pollution Caused by Households: Uncertainty, Prices, and Income", *Journal of Environmental Management*, Vol 92 (No. 10); 2746-2753
- DS-35/2005 Decreto Supremo: "Declara zona saturada por material particulado respirable MP10, como concentración de 24 horas, a las comunas de Temuco y Padre Las Casas", Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Diario Oficial Mayo 2005.
- DS-07/2009 Decreto Supremo: "Declara zona saturada por material particulado respirable MP10, como concentración anual y de 24 horas, el Valle Central de las VI Región", Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Diario Oficial Marzo 2009.
- DS-32/2010 Decreto Supremo: "Declara zona saturada por material particulado respirable MP10 a las comunas de Talca y Maule", Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Diario Oficial Junio 2010.

- DS-78/2009: “Plan de Descontaminación Atmosférica de Temuco y Padre Las Casas”, Minsepres, Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Diario Oficial Junio 2010.
- Gómez, W., Chávez, C., Mendoza, Y., Briceño, S., Garcés, R., (2009), “Diseño de un programa de recambio de artefactos existentes que combustionan leña por tecnología menos contaminante, en las comunas de Temuco y Padre Las Casas”, Informe Final, Proyecto/Adquisición No 1285-11014-CO08, CONAMA Araucanía, Temuco, Chile.
- Gómez, W., Salgado, H., Vásquez, F. y Chávez, C. (2014) “Using stated preference methods to design cost-effective subsidy programs to induce technology adoption: An application to a stove program in southern Chile”, *Journal of Environmental Management*, Volumen 132, pp 346-357
- Gómez, W., Chávez, C., y Briceño, S. (2010), “Estudio de Caso: Programa de Recambio de Artefactos Existentes que Combustionan Leña por Tecnologías Menos Contaminantes”. Estudio de caso prospectivo preparado para Informe REEO sobre Eficiencia Energética y Uso de Recursos en América Latina- Perspectivas Económicas, elaborado en el marco del convenio entre el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Red Mercosur de Investigaciones Económicas.
- Gómez W., Yep S. and Chávez, C. (2012): “Subsidios a hogares para inducir adopción de tecnologías de combustión más eficiente y menos contaminantes: Simulación para el caso de Temuco y Padre Las Casas”, aceptado a publicación en la revista *Estudios de Economía*.
- Gujarati, D. (2003). “Econometría Básica”. Mc Graw Hill.
- OCDE-CEPAL (2005): Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos - Comisión Económica para América Latina y el Caribe. “Evaluaciones de Desempeño Ambiental. Chile”.
- Wooldridge, J. (2010). “Econometric analysis of cross section and panel data”. 2nd Ed. Cambridge, Mass.: The MIT Press.

ANEXO A. Estadísticas descriptivas y modelos complementarios

Tabla A1. Distribución geográfica y representatividad de los hogares encuestados

Región	Estrato	Comuna	N° Hogares Encuestados		Factor de Expansión	
VI	Valle de Cachapoal	CHIMBARONGO	9	0.45%	3421.97	0.72%
		CODEGUA	7	0.35%	4139.73	0.87%
		COINCO	5	0.25%	1812.80	0.38%
		COLTAUCO	7	0.35%	3918.06	0.82%
		DOÑIHUE	19	0.96%	8348.25	1.75%
		GRANEROS	15	0.76%	7516.97	1.58%
		MACHALI	7	0.35%	3156.89	0.66%
		MALLOA	7	0.35%	2918.51	0.61%
		OLIVAR	10	0.50%	4102.36	0.86%
		QUINTA DE TILCOCO	4	0.20%	1609.16	0.34%
		RANCAGUA	27	1.36%	12503.37	2.62%
		RENGO	14	0.71%	6393.23	1.34%
		REQUINOA	14	0.71%	5694.81	1.19%
		SAN FERNANDO	12	0.60%	6730.41	1.41%
		SAN FRANCISCO DE MOSTAZAL	9	0.45%	4484.26	0.94%
		SAN VICENTE	12	0.60%	4509.65	0.95%
VII	Talca - Maule	MAULE	33	1.66%	4968.03	1.04%
		TALCA	127	6.40%	31341.76	6.57%
	Curicó	CURICO	177	8.92%	16635.84	3.49%
VIII	Chillan - Chillan Viejo	CHILLAN	175	8.82%	29625.10	6.21%
		CHILLAN VIEJO	63	3.17%	11893.51	2.49%
	Gran Concepción	CHIGUAYANTE	22	1.11%	20237.24	4.24%
		CONCEPCION	41	2.07%	37657.03	7.90%
		CORONEL	27	1.36%	21809.55	4.57%
		HUALPEN	20	1.01%	16842.58	3.53%
		HUALQUI	19	0.96%	8048.73	1.69%
		LOTA	11	0.55%	4659.79	0.98%
		PENCO	16	0.81%	9052.42	1.90%
		SAN PEDRO DE LA PAZ	28	1.41%	20504.40	4.30%
		TALCAHUANO	17	0.86%	12296.36	2.58%
		TOME	16	0.81%	17968.43	3.77%
Los Ángeles	LOS ANGELES	281	14.16%	35432.09	7.43%	
X	Osorno	OSORNO	325	16.37%	43379.05	9.10%
XI	Coyhaique	COYHAIQUE	116	5.84%	15267.69	3.20%
XIV	Valdivia	VALDIVIA	293	14.76%	37941.16	7.96%
	Total país		1985		476821.2	



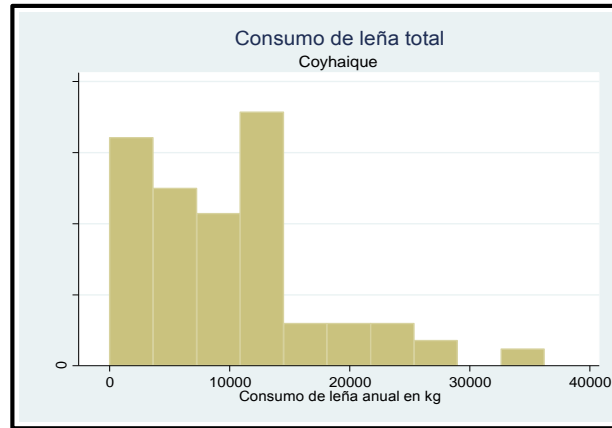
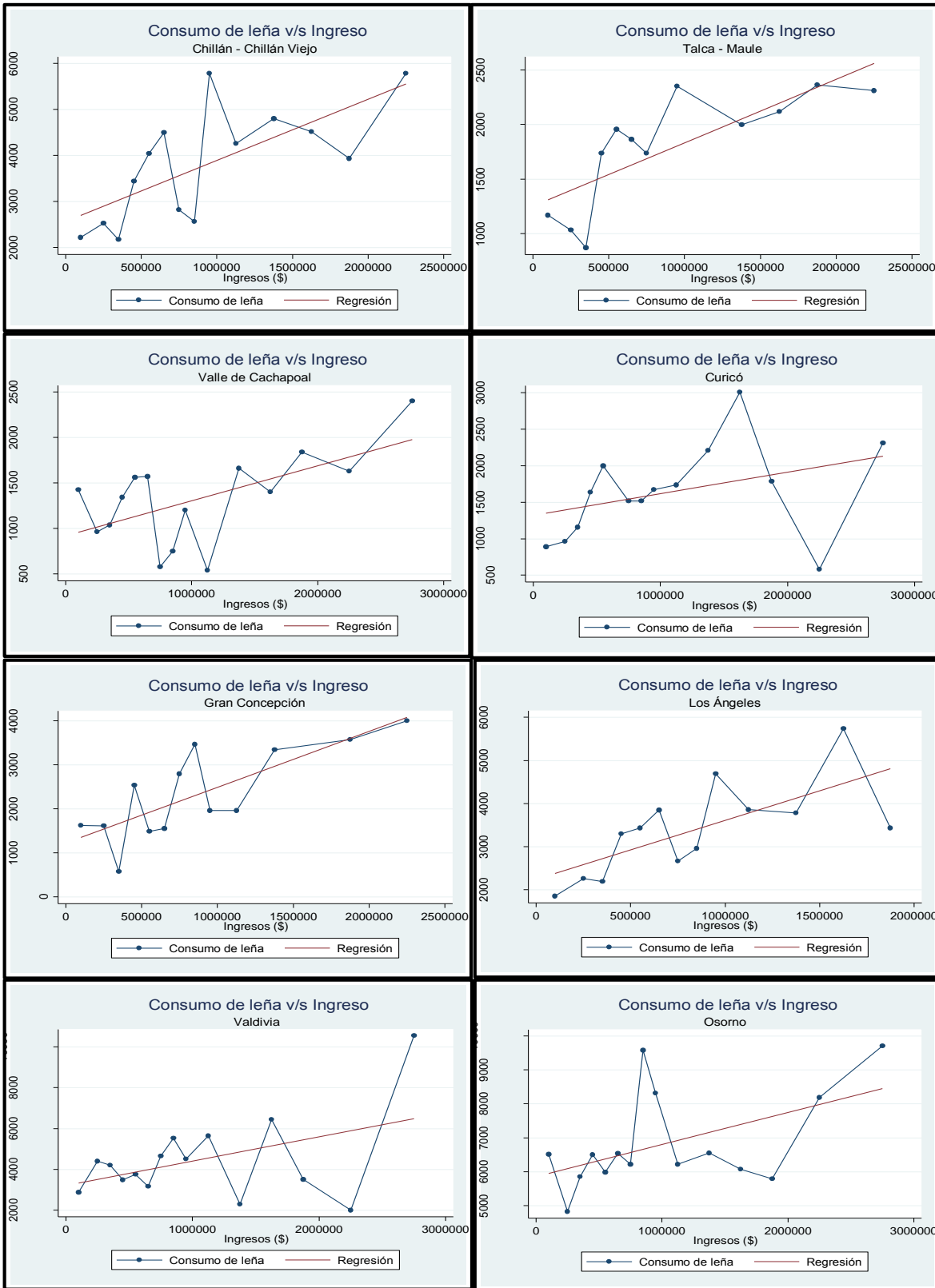


Figura A1. Consumo total de leña por zona geográfica

Tabla A2. Ingreso liquido mensual del hogar

Ingreso Liquido Mensual	Frecuencia	Porcentaje
Menos de \$200.000	224	11.28
Entre \$200.000 y \$300.000	187	9.42
Entre 300.001 y \$400.000	129	6.5
Entre \$400.001 y \$500.000	833	41.96
Entre \$500.001 y \$600.000	110	5.54
Entre \$600.001 y \$700.000	64	3.22
Entre \$700.001 y \$800.000	60	3.02
Entre \$800.001 y \$900.000	39	1.96
Entre \$900.001 y \$1.000.000	45	2.27
Entre \$1.000.001 y \$1.250.000	41	2.07
Entre \$1.250.001 y \$1.500.000	111	5.59
Entre \$1.500.001 y \$1.750.000	46	2.32
Entre \$1.750.001 y \$2.000.000	49	2.47
Entre \$2.000.001 y \$2.500.000	25	1.26
Más de \$2.500.000	22	1.11
<i>Total</i>	1,985	100



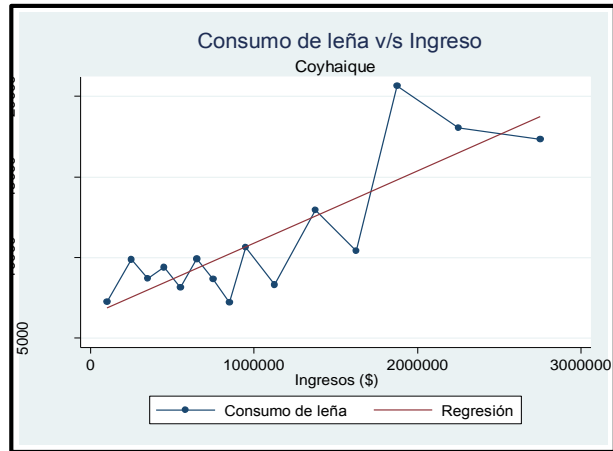
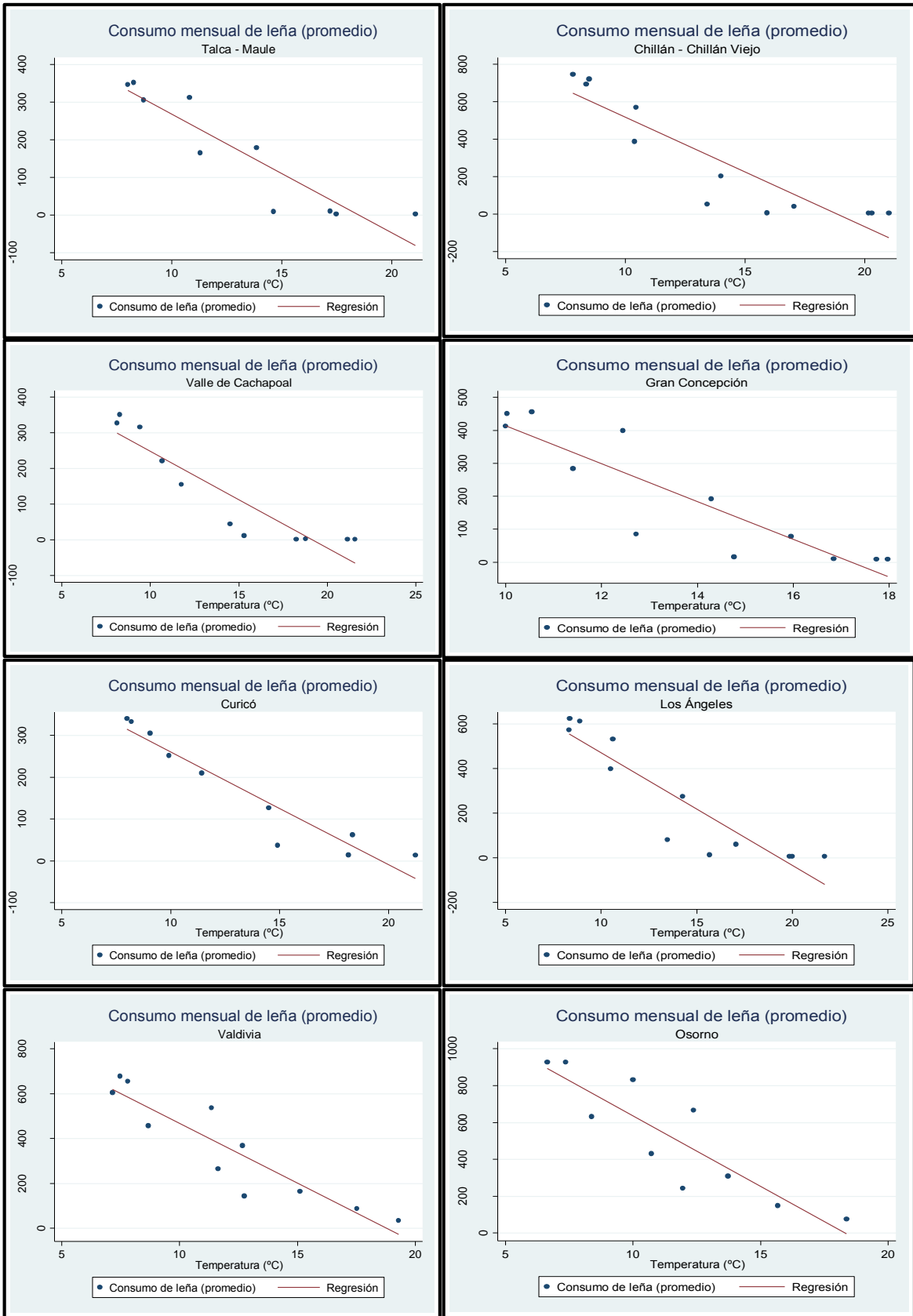


Figura A2. Consumo de leña promedio vs. ingreso (zona geográfica)



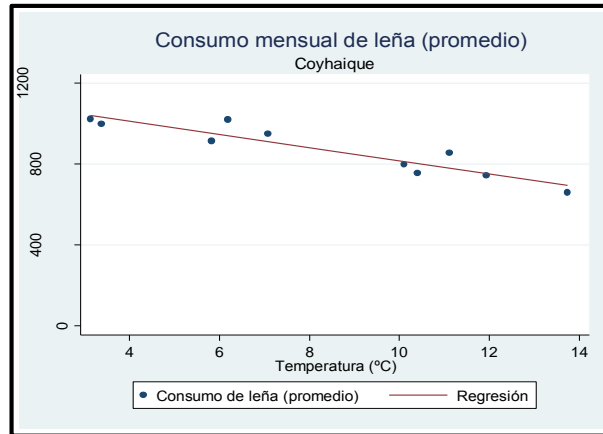


Figura A3. Consumo de leña promedio vs. temperatura (zona geográfica)

ANEXO B. Listado de variables utilizadas en la estimación del modelo anual y mensual

Tabla B1. Variables incluidas en las estimaciones econométricas

Variable	Descripción
Consumo de leña	Logaritmo del consumo anual/mensual de leña (<i>Kgs</i>)
No. niños (< 3 años)	Número de niños menores de 3 años en el hogar
No. adultos (> 60 años)	Número de adultos mayores de 60 años en el hogar
Ingreso	Ingreso mensual del hogar (<i>Pesos chilenos/mes</i>)
Tamaño de la vivienda	Superficie de la vivienda (<i>m²</i>)
Antigüedad de la vivienda	Número de años desde la construcción de la vivienda
Tipo de vivienda	Variable dicotómica: 1 = departamento; 0 = casa
Uso de la vivienda	Variable dicotómica: 1 = residencial y comercial; 0 = residencial
% de ventanas termo-panel	% de ventanas de termo-panel con respecto al número total de ventanas de la vivienda
Aislamiento térmico (<i>techos</i>)	Variable dicotómica: 1 = realizó acondicionamiento térmico en techos hace menos de 3 años; 0 = en otro caso.
Aislamiento térmico (<i>muros</i>)	Variable dicotómica: 1 = realizó acondicionamiento térmico en muros hace menos de 3 años; 0 = en otro caso.
Aislamiento térmico (<i>pisos</i>)	Variable dicotómica: 1 = realizó acondicionamiento térmico en pisos hace menos de 3 años; 0 = en otro caso.
Aislamiento térmico (<i>sellado filtraciones</i>)	Variable dicotómica: 1 = realizó sellado de filtraciones hace menos de 3 años; 0 = en otro caso.
Almacenamiento	Variable dicotómica: 1 = almacena leña a la interperie; 0 = en otro caso.
Presencia de hongos en la vivienda	Variable dicotómica: 1 = presencia de hongos en distintos lugares de la vivienda; 0 = en otro caso.
No. equipos de calefacción a leña	Número de equipos de calefacción a leña en el hogar
Eficiencia equipo de calefacción (<i>leña</i>)	Ranking de eficiencia del equipo principal de calefacción a leña: 1 = salamandra, hechizo; 2 = cámara simple; 3 = cámara doble; 4 = caldera.
Antigüedad equipo de calefacción (<i>leña</i>)	Número de años de antigüedad del principal equipo de calefacción a leña
Intensidad uso equipo de calefacción (<i>leña</i>)	Número de horas diarias de uso del principal equipo de calefacción a leña
Uso de leña como combustible para cocción	Variable dicotómica: 1 = utiliza leña como combustible para cocción; 0 = en otro caso.
Más de un equipo de cocción (<i>leña</i>)	Variable dicotómica: 1 = se tiene más de un equipo de cocción a leña en el hogar; 0 = en otro caso.
Usuario de equipos gas (<i>calefacción</i>)	Variable dicotómica: 1 = se tiene al menos un equipo de calefacción a gas en el hogar; 0 = en otro caso.
Usuario de equipos parafina (<i>calefacción</i>)	Variable dicotómica: 1 = se tiene al menos un equipo de calefacción a parafina en el hogar; 0 = en otro caso.
Precio leña	Monto mensual/anual gastado en leña durante el año 2013.
Precio parafina	Precio mensual/anual regional de la parafina (<i>\$/litro</i>)
Leña recogida o regalada	Variable dicotómica: 1 = recoge o le regalan leña; 0 = en otro caso.
Temperatura	Temperatura promedio anual/mensual por estrato (<i>°C</i>)
Velocidad del viento	Velocidad del viento promedio anual/mensual por estrato (<i>m/s</i>)
No. horas de ventilación (<i>día lluvioso</i>)	Número de horas diarias de ventilación en un día lluvioso
No. horas de ventilación (<i>día soleado</i>)	Número de horas diarias de ventilación en un día lluvioso
Tiraje (<i>día</i>)	Variable dicotómica: 1 = deja el tiraje abierto o semi-abierto durante el día; 0 = en otro caso.

Tiraje (<i>noche</i>)	Variable dicotómica: 1 = deja el tiraje abierto o semi-abierto durante la noche; 0 = en otro caso.
Enfermedad	Variable dicotómica: 1 = ha experimentado enfermedades respiratorias y/o cardiovasculares; 0 = en otro caso.
Olor a leña persistente (<i>hogar</i>)	Variable dicotómica: 1 = permanentemente se presentan olores a leña o humo al interior de su vivienda; 0 = en otro caso.
Contaminación no importante (<i>comuna</i>)	Variable dicotómica: 1 = la contaminación poco importante o no importante en su comuna; 0 = en otro caso.
Insatisfecho calidad del aire (<i>comuna</i>)	Variable dicotómica: 1 = insatisfecho o muy insatisfecho con la calidad del aire en su comuna; 0 = en otro caso.
Responsabilidad hogar	Variable dicotómica: 1 = los hogares son los responsables primarios de la contaminación en su comuna; 0 = en otro caso.
Responsable contaminación (<i>leña</i>)	Variable dicotómica: 1 = el uso de leña en general es el responsable de la contaminación de la comuna; 0 = en otro caso.
% leña nativa	% de leña nativa utilizada para calefacción y/o cocción.

ANEXO C: Programa del Curso

Programa

“Estimación econométrica de la demanda residencial de leña en las zonas Centro y Sur de Chile: Aspectos teóricos y prácticos”

Enero 21 y 22 de 2016

Merced 838-A, Edificio Casa Colorada, Piso 3, Oficina 33, Santiago

Día 1: Enero 21 de 2016

09:00 – 09:10 Inscripción y asignación de estación de trabajo

09:10 – 09:15 Preparación del entorno de trabajo y consultas previas

09:15 – 11:15 Introducción a la econometría (Parte 1)

- Definición de la econometría
- Etapas del trabajo Econométrico
- Modelo lineal Simple
- Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO)
- Criterio de bondad de ajuste: R^2 y R^2 ajustado.
- Inferencia estadística: intervalos de confianza y pruebas de hipótesis.

11:15 – 11:30 Coffee break

11:30 – 13:30 Introducción a la econometría (Parte 2)

- Validación de modelos econométricos.
- Violación de supuestos de MCO y medidas correctivas

13:30 - 14:30 Almuerzo

14:30 – 16:30 Introducción a los software econométrico y preparación de los datos

- Software econométricos y estadísticos
- Lectura de datos
- Elaboración de estadística descriptiva
- Ayuda y manuales
- Preparación de datos para la estimación de modelos econométricos

16:30 – 16:45 Coffee break

16:45 – 18:30 Estimación de demanda de leña anual: Un caso práctico

- Preparación y lectura de datos

- Estadísticas descriptivas
- Estimación del modelo de demanda de leña anual
- Inferencia estadística para el modelo anual

18:30 19:00 Resumen y consultas

19:00 Fin de jornada

Día 2: Enero 22 de 2016

09:00 – 09:05 Preparación del entorno de trabajo y consultas previas

09:05 – 11:00 Introducción a la econometría de datos de panel (parte 1)

- Tipos de datos para el análisis econométrico
- Introducción a los datos de panel
- Importancia del análisis de datos de panel
- Modelo de Efectos Fijos (EF)
- Modelo de Primeras Diferencias (FD)
- Modelo de Efectos Aleatorios (EA)
- Efectos Fijos versus Efectos Aleatorios
- Modelos agregados (Pooled OLS)
- Modelo de Efectos Aleatorios versus Pooled OLS

11:00 – 11:15 Coffee break

11:15 – 13:00 Introducción a la econometría de datos de panel (parte 2) y predicción

- Validación de modelos de datos de panel: errores clúster
- Introducción a la predicción

13:00 - 14:00 Almuerzo

14:00 – 17:00 Estimación de demanda de leña mensual: Un caso práctico

- Lectura de datos
- Preparación de los datos para trabajar con estructura de panel
- Estadísticas descriptivas
- Estimación del modelo de demanda de leña mensual
- Inferencia estadística para el modelo mensual
- Introducción a los modelos logit y probit

17:00 Fin de jornada

ANEXO D. Registro de asistencia al curso de econometría

TALLER "ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LA DEMANDA RESIDENCIAL DE LEÑA EN LAS ZONAS CENTRO Y SUR DE CHILE: ASPECTOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS"

DIRECCIÓN: MERCED 838-A, EDIFICIO CASA COLORADA, PISO 3, OFICINA 33, SANTIAGO.
 LISTADO ASISTENTES IIRA. JORNADA: JUEVES 21 DE ENERO 2016, DE 09.00 A 13.30 HRS.

NOMBRE	APELLIDO	CARGO	ORGANISMO	DIRECCION	CIUDAD	FONO	MAIL
1	Luis Gonzalo	Analista	Ministerio de Desarrollo Social	Alameda 48 PISO 6	Stgo	6711619	lucullor@desarrollo-social.cl
2	Lourdes	Analista	Ministerio Desarrollo Social	"	"	6751665	lvelez@desarrollo-social.cl
3	Yoselin	Prof. DEE	MINISTERIO DE EDUCACION	ALAMEDA 14 PISO 14	"	223656619	yrtos@minenergia.cl
4	Macarena	Eng.	Ministerio Medio Ambiente	Sr Martin 73	Stgo	8753774	mlarrain@mma.gob.cl
5	Paulina	Prof.	F.M.A	"	"		pschuliz@mma.gob.cl
6	Franco	Profesional	MMA	SAN MARTIN 73	STGO	25735880	FDONOSO@MMA.GOB.CL
7	Rodrigo	Profesional	MMA	"	"	96995516	rdthorn@mma.gob.cl
8	Amanda	Profesional	MMA	"	"	94354702	ayraulla@mma.gob.cl
9	Orlinda	Analista	MDS	Alameda 48 PISO 6	"	926751684	ourides@desarrollo-social.cl
10	Alexandra	Profesional	Ministerio de Energía	Alameda 14 PISO 14	Stgo	91670761	alexuwoj@minenergia.cl
11							
12							
13							
14							
15							

TALLER "ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LA DEMANDA RESIDENCIAL DE LEÑA EN LAS ZONAS CENTRO Y SUR DE CHILE:
ASPECTOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS"

DIRECCIÓN: MERCED 838-A, EDIFICIO CASA COLORADA, PISO 3, OFICINA 33, SANTIAGO.
LISTADO ASISTENTES 2DA. JORNADA: JUEVES 21 DE ENERO 2016, DE 14:30 A 19:30 HRS.

NOMBRE	APELLIDO	CARGO	ORGANISMO	DIRECCION	CIUDAD	FONO	MAIL
Alexandra	Munoz	Profesional	Ministerio de Energía	Alameda 1449, PPT 14	Sgo	96707161	amunoz@minenergia.cl
Yoselin	Rozas	Profesional DEE	Ministerio de Energía	Mañe de Hue, piso 14	Sgo	23656619	yrozas@minenergia.cl
Quilte	Velaz	Asistente	MDS	Ahuimada 48	Sgo	26751684	quilt@despacho-velaz.cl
José	Vélez B	ARQUITECTO	MDS	Ahuimada 48	Sgo	26751665	velez@despacho-velaz.cl
Paulina	Schulz	Prof.	MMA	San Martín 73	Sgo		pschulz@mma.gob.cl
Rodrigo	Dittborn	Profesional	MMA	"	"	96995316	rdittborn@mma.gob.cl
Macarena	Lancara	Prof.	MMA	"	"	87337744	mlancara@mma.gob.cl
Luis Gonzalo	Urcullo	Analista	MDS	Ahuimada 48	Sgo	26751619	lurcullo@despachosocial.cl
Amelia	Jullio	Profesional	MMA	San Martín 73	Sgo	25735517	ajullio@mma.gob.cl
Franco	Donoso	Profesional	MMA	SAN MARTIN 73	Sgo	25735580	frdonoso@mma.gob.cl

TALLER "ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LA DEMANDA RESIDENCIAL DE LEÑA EN LAS ZONAS CENTRO Y SUR DE CHILE:
ASPECTOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS"

DIRECCIÓN: MERCED 838-A, EDIFICIO CASA COLORADA, PISO 3, OFICINA 33, SANTIAGO.

LISTADO ASISTENTES 3RA. JORNADA: VIERNES 22 DE ENERO 2016, DE 09.00 A 13.00 HRS.

NOMBRE	APELLIDO	CARGO	ORGANISMO	DIRECCION	CIUDAD	FONO	MAIL
1. Trueta	Valdés R.	Asistente	NDS	Alameda 480 Piso 6	Spt	26751684	ovaldes@desarrollo social.cl
2. Yosevici	ROZAS U	Profesional	Minerogía	Alameda 1044	Stoo	23656619	yrozasc@minerogia.cl
3. Lourdes	VÉLEZ B	Asistente	M. Desarrollo Social	Alameda 48	SToo	26751665	lvalez@desarrollo social.cl
4. Paulina	Schulz	Prof.	MMA	San Martín 73	Spt		pschulz@mma.gob.cl
5. Rodrigo	Silbom	Profesional	MMA	"	"	25735667	rsilbom@mma.gob.cl
6. Macarena	Zurraín	"	"	"	"	87337744	macarenaz@gnal.com
7. Geonza	Urcillo	Analista	MDS	Alameda 48	"	26751619	urcillo@desarrollo social.cl
8.							
9.							
10.							
11.							
12.							
13.							
14.							
15.							

TALLER "ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LA DEMANDA RESIDENCIAL DE LEÑA EN LAS ZONAS CENTRO Y SUR DE CHILE:
ASPECTOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS"

DIRECCIÓN: MERCED 838-A, EDIFICIO CASA COLORADA, PISO 3, OFICINA 33, SANTIAGO.
LISTADO ASISTENTES ATA, JORNADA: VIERNES 22 DE ENERO 2016, DE 14.00 A 17.00 HRS.

NOMBRE	APELLIDO	CARGO	ORGANISMO	DIRECCIÓN	CIUDAD	FONO	MAIL
1 Gonzalo	Urcullo	Analista	MDS	Prumalla 40	STo	26751619	urcullo@desarrollosocial.cl
2 Lourdes	VÉLEZ B	ANALISTA	MDS	Ahumada 40	STo	26751619	velez@desarrollosocial.cl
3 YOSELIN	ROZAS U.	PROFESIONAL	Mineenergía	Alameda 1449	STo	23656619	yrozass@minenergia.cl
4 Orietta	Valdés Rojas	Químico	MDS	Alameda 489106	STo	26751619	ovalde@desarrollosocial.cl
5 Macarena	Laraín	Profesi	MMA	San Martín 3	"	87537744	mlaraín@mima.gob.cl
6 Francisco	Domero	Ingenier	MMS	San Martín 3	STo	25938880	frdomero@mmgob.cl
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							