# BES

BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD

**BES | Nº 10 | AÑO 5**
DICIEMBRE 2019

ISSN: 0719-7136




## FINANCIANDO MEJORAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN HOGARES DEL CENTRO-SUR DE CHILE:

¿Cómo inciden distintos instrumentos de financiamiento, el ahorro y la incertidumbre en la decisión de invertir?

# BES

BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD

**Informes BES** | Número 10 | Año 05 | DIC. 2019
**Producción y diagrámación:** Luz Díaz V., Arquitecta, Investigadora Instituto Forestal **Editor general:** René Reyes, Ingeniero Forestal (Ph.D), Investigador Instituto Forestal **Comité editor:** Comité Científico de LACEEP (Latin American and Caribbean Environmental Economics Program). **Colaboradores:** Yalili Jaramillo, Ingeniera Forestal.

UNA PUBLICACIÓN:

OCDM OBSERVATORIO DE LOS COMBUSTIBLES DERIVADOS DE LA MADERA

INFOR

**Instituto Forestal**
Sucre 2397 Ñuñoa
Santiago, Chile
Fono. +56 2 23669115

**www.infor.cl**

ISSN: 0719-7136

Se autoriza la reproducción parcial de esta publicación siempre y cuando se efectúe la cita correspondiente:

Schueftan, A., Aravena, C., Reyes, R., Aguilera, F. 2019. Financiando mejoras de eficiencia energética en hogares del centro-sur de Chile: ¿Cómo inciden distintos instrumentos de financiamiento, el ahorro y la incertidumbre en la decisión de invertir? En: Informes técnicos BES, Bosques - Energía - Sociedad, Año 5. N° 10. Diciembre 2019. Observatorio de los Combustibles Derivados de la Madera OCDM. Instituto Forestal, Chile. p. 16.

# índice


03 RESUMEN

04 1. INTRODUCCIÓN

05 2. EL CONTEXTO

06 3. METODOLOGÍA

08 4. RESULTADOS

11 5. CONCLUSIONES

13 6. REFERENCIAS

# FINANCIANDO MEJORAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN HOGARES DEL CENTRO-SUR DE CHILE: ¿CÓMO INCIDEN DISTINTOS INSTRUMENTOS DE FINANCIAMIENTO, EL AHORRO Y LA INCERTIDUMBRE EN LA DECISIÓN DE INVERTIR?

**Alejandra Schueftan[1], Claudia Aravena[2] , René Reyes[1] y Florencia Aguilera[1].**
[1]Instituto Forestal, sede Valdivia, Chile
[2]Department of Economics – Heriot-Watt University, UK

**RESUMEN**

El alto consumo de leña para calefacción es la principal causa de la contaminación atmosférica que afecta a las ciudades del centro y sur de Chile, con graves consecuencias para la salud y la calidad de vida de sus habitantes. Los programas diseñados para reducir la contaminación no han sido suficientemente efectivos. El reacondicionamiento térmico de viviendas permite disminuir el consumo de energía para calefacción, siendo identificado como la mejor estrategia para reducir la contaminación y maximizar beneficios sociales. Sin embargo, invertir en mejorar el desempeño térmico de la vivienda no es una prioridad para la mayor parte de las familias. El objetivo de este artículo es investigar las preferencias de los hogares por distintos instrumentos de financiamiento para reacondicionar térmicamente sus viviendas, y estudiar el rol que cumplen en ello el ahorro potencial -asociado a una menor demanda de energía para calefacción- y la incertidumbre, con el fin de encontrar soluciones que aumenten la adopción de estas medidas. Para ello, se aplicó un experimento económico a una muestra de 216 tomadores de decisión (dueños de casa) en la ciudad de Valdivia durante el año 2018. Los resultados muestran que el tipo de financiamiento juega un papel preponderante en la decisión de invertir, observándose una preferencia por financiamientos mixtos que combinan el uso de recursos propios y créditos de mediano plazo. Al mismo tiempo, las personas muestran una menor disposición a tomar créditos de largo plazo, asociados a hipotecarios u otros. El ahorro potencial en calefacción, que resulta del reacondicionamiento térmico, es el segundo elemento que las personas toman en cuenta al momento de decidir, mientras que la incertidumbre asociada al logro de dichos ahorros, si bien tiene un efecto estadísticamente significativo, tiene una menor incidencia en la decisión de inversión. Estos resultados son relevantes, pues permiten alinear las preferencias de los usuarios con la política pública. Reducir el consumo de energía para calefacción y el gasto asociado facilita procesos de transición energética que avancen hacia el reemplazo de tecnologías obsoletas y contaminantes.

**Palabras clave |** Contaminación atmosférica, calefacción, leña, vivienda, aislación térmica, incertitumbre, Chile.



Imagen 1.
**Detalle aislación cumbrera techumbre en vivienda de alto desempeño energético en Valdivia.**

## 1. INTRODUCCIÓN

La adopción de medidas de eficiencia energética es uno de los métodos más sostenibles para reducir el uso de energía en los hogares, y contribuir a mejorar las condiciones ambientales. Esto es especialmente cierto en el caso de países como Chile que sufren altos niveles de contaminación del aire derivados del uso de leña. Por lo tanto, la implementación de medidas de eficiencia energética es una estrategia clave para reducir la contaminación interior y exterior, reducir el gasto en calefacción y aumentar el confort (Scott, 1997; Gustavsson y Joelsson, 2007; Zundel y Stiess, 2011). Además, las inversiones en mejoras de eficiencia energética entregan rendimientos más altos que las alternativas bancarias comunes[1] (Gates, 1983; Scott, 1997; Motherway y Halpin, 2010); sin embargo, los propietarios no siempre son conscientes de sus beneficios, y pueden ser reacios a invertir (Scott, 1997).

En esta línea, el presente estudio se centra en las mejoras de eficiencia energética relacionadas con la aislación térmica de las viviendas, como forma de reducir la demanda de energía para calefacción. El objetivo es analizar las preferencias de los hogares por distintos instrumentos financieros para reacondicionar térmicamente sus viviendas, estudiando el rol que cumple en estas preferencias el ahorro potencial -asociado a una menor demanda de energía para calefacción- y la incertidumbre, con el fin de encontrar soluciones que aumenten su adopción. Dado que el principal problema asociado a inversiones en eficiencia energética es la falta de información y la ausencia de incentivos financieros (BID, 2015), en este documento se realiza un experimento de elección que explora la valoración de los hogares por distintos instrumentos y sus atributos más valorados.

En ese sentido, este trabajo contribuye en dos dimensiones: a) mezcla atributos que son relevantes en el proceso de toma de decisión relativa al mejoramiento térmico de la vivienda, los cuales no han sido estudiados previamente en Chile (diferentes instrumentos financieros, beneficios potenciales como el ahorro en calefacción y la incertidumbre asociada), y b) investiga cuál es la herramienta que más incentivaría a los hogares a invertir en estas medidas. Esta es un área que no ha sido explorada suficientemente en la literatura, la

[1] Para analizar los rendimientos de las inversiones se consideraron factores como la duración de la inversión, los cambios en los precios y los ahorros a lo largo del tiempo.

que se ha enfocado principalmente en hogares de bajos ingresos, mientras que este trabajo se enfoca en hogares de ingreso medios-altos, los cuales tienen una mayor capacidad de invertir.

La ciudad de Valdivia fue elegida como un caso de estudio, ya que se encuentra en el centro-sur de Chile y tiene problemas y un contexto socio-económico similar al de otras ciudades. En Valdivia se han realizado muchos estudios, lo que aumenta la disponibilidad de información y permite mostrarla como un caso representativo del problema en cuestión. Para llevar a cabo este estudio, se modeló el desempeño térmico de las viviendas y se estudió el comportamiento de los tomadores de decisión para realizar un análisis más completo y realista de los factores que influyen en las inversiones en eficiencia energética.

Los resultados obtenidos en este estudio son un buen insumo para el desarrollo de políticas públicas. Para llevar a cabo programas de reacondicionamiento térmico a gran escala se deben considerar una combinación de fuentes de financiamiento. Por ello, es importante identificar los factores que inciden sobre las decisiones que implican el desembolso de recursos propios (inversión privada). Esta información permite el diseño de instrumentos y políticas financieras efectivas y socialmente aceptadas, para alentar la adopción de mejoras en las viviendas y, como consecuencia, la reducción de los niveles de contaminación del aire.

El documento se plantea de la siguiente forma, en la segunda sección se presenta el caso de Valdivia, en términos de fuentes de energía utilizadas y problemas ambientales, así como el contexto de eficiencia energética y políticas públicas. La metodología, el diseño de la encuesta y su implementación se desarrollan en la tercera sección. La cuarta sección presenta y analiza los resultados. Por último, las conclusiones y las implicancias políticas se discuten en la quinta y última sección.

## 2. EL CONTEXTO CHILENO: CONTAMINACIÓN DEL AIRE, LEÑA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CENTRO-SUR DE CHILE

Las ciudades del centro-sur de Chile presentan serios problemas de contaminación atmosférica, con concentraciones de material particulado fino (MP2.5) que superan durante el invierno todas las regulaciones nacionales e internacionales. Estas concentraciones han ido en aumento durante los últimos años, principalmente debido al uso excesivo de leña para calefacción residencial, ya que la baja eficiencia energética de las viviendas requiere una gran cantidad de energía para mantener una temperatura interior adecuada. Por otro lado, la leña es el combustible más utilizado (entre el 85% y el 95% de los hogares, dependiendo de la ciudad) porque su precio es mucho menor al de otras opciones, como el diésel, el gas licuado o la electricidad (Reyes et al., 2015; Reyes, 2017). A pesar de esto, la enorme cantidad de energía requerida para calefacción implica un costo que buena parte de los hogares no pueden cubrir, lo que repercute en la temperatura intradomiciliaria. En efecto, estudios realizados en el sur de Chile han mostrado temperaturas interiores promedio entre 14.3 y 16.5ºC (Bustamante et al., 2009), lo que se aleja de los niveles de confort (18° C; OMS, 1987). En este contexto, la salud de la población se ve afectada tanto por los altos niveles de contaminación atmosférica como por las bajas temperaturas interiores.

Para abordar este problema, las principales ciudades del centro-sur de Chile están en proceso de desarrollar o implementar Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA). Estos planes incluyen cuatro líneas de acción para reducir la contaminación: mejorar la calidad de los combustibles, aumentar la eficiencia de los sistemas de calefacción, mejorar la aislación de las viviendas, e implementar programas educativos. En este contexto, se han implementado programas para mejorar la calidad de la leña, subsidios para el recambio de calefactores a leña antiguos por equipos más eficientes, y subsidios para aumentar la eficiencia energética de los hogares, mejorando la aislación y la hermeticidad. Esta última medida tiene un gran potencial, tanto para reducir el consumo de leña como para aumentar las temperaturas interiores (por ende, reducir el costo en calefacción). El potencial de esta medida es aún mayor si se considera que más del 85% de las viviendas existentes se construyeron antes de la entrada en vigencia de la Normativa Térmica (primera etapa el 2000 y segunda etapa el 2007); por lo que no cumplen con ningún criterio de eficiencia energética. De todos modos, a pesar de los beneficios potenciales de las medidas de eficiencia energética, su implementación es muy baja, especialmente vía financiamiento privado (familias). Dos de las razones principales son la falta de incentivos para invertir en este tipo

Imagen 2.
**Detalle encuentro aislación continua entre techumbre y muro en vivienda de alto desempeño energético en Valdivia.**



de medidas, y la falta de acceso a herramientas o instrumentos financieros.

La principal ventaja de incentivar las inversiones privadas en eficiencia energética es el hecho de que, a diferencia de otras medidas, contribuye además a reducir los niveles de pobreza de energía. Un hogar se encuentra en estado de pobreza de energía cuando no tiene acceso equitativo a servicios energéticos de alta calidad para cubrir sus necesidades fundamentales y básicas, que permitan sostener el desarrollo humano y económico de sus miembros (Calvo et al., 2019).

Muchas políticas no han considerado el contexto socioeconómico en el que se aplican, lo que significa que no logran los efectos esperados, y en algunos casos incluso tienen consecuencias negativas para la población (en este caso, un mayor gasto en calefacción, lo que podría empeorar la pobreza de energía). Este es el caso del programa de recambio de calefactores a leña y el programa de certificación de leña. El primero promueve el uso de tecnologías basadas en kerosene o combustibles que en general son mucho más caros que la leña, lo que obliga a los hogares a hacer un mayor gasto o a estar expuestos a menores temperaturas al interior de la vivienda. Además, no es una medida adecuada si se considera que el reemplazo de la leña aumentaría nuestra dependencia energética (recursos importados).

La promoción de la producción local de energía es un elemento positivo que debe ser considerado. En el caso del programa que promueve la certificación de leña, este ha tenido efectos limitados debido a una serie de razones, entre las cuales destacan: i) buena parte de los usuarios compran leña seca en el mercado informal, y ii) el uso de estufas con el tiraje cerrado produce emisiones muy altas de material particulado fino, incluso cuando se utiliza leña seca (Ruiz-Tagle et al., 2019).

Como se puede notar, el problema tiene más relación con el uso eficiente de la energía que con el uso de leña en sí; esa es la razón por la cual la eficiencia energética de las viviendas es un elemento crucial. Las mejoras de eficiencia energética pueden garantizar una reducción en la demanda de leña solo si se implementan correctamente. Sin embargo, la implementación requiere una mayor inversión y esta ha sido lenta. Por esta razón, es necesario desarrollar una combinación de instrumentos financieros que permiten acelerarla.

Los PDA no establecen prioridades o jerarquías, implementando todas las medidas al mismo tiempo dependiendo de la demanda de los usuarios. Esto implica que los hogares definen las prioridades, y no la política pública. Esto es muy relevante porque el usuario tiene poco conocimiento sobre los beneficios de aislar su vivienda, por lo que a menudo prioriza otras estrategias, como el recambio de calefactores a leña. Esta falta de priorización genera incertidumbre sobre las reales posibilidades de reducir la contaminación atmosférica urbana.

## 3. METODOLOGÍA

Se estudiaron las tipologías arquitectónicas más comunes en los diferentes grupos socioeconómicos de Valdivia, y se estimó el costo de reacondicionamiento para muros y techumbre, de acuerdo a dos estándares diferentes de eficiencia energética: a) Normativa Térmica Chilena de 2007 (NT 2007), y b) estándar de eficiencia energética derivado del PDA (estándar más alto).

Se analizaron las características de las viviendas a partir de una muestra de 2000 viviendas [2]. Se estudió el tamaño de las viviendas por grupo de ingreso, con el fin de poder asignar un rango de metros cuadrados por grupo. Con esta información se elaboró una tabla

[2] Estas encuestas fueron desarrolladas por CIVA, organismo perteneciente a la Universidad Austral de Chile, dedicado a la certificación e investigación de todos los procesos relacionados con la construcción de una vivienda. Estas encuestas fueron realizadas para el Ministerio de Medio Ambiente.

para clasificar la población objetivo, y determinar el costo del reacondicionamiento térmico de acuerdo al tamaño de la vivienda. Esto era necesario para ajustar el escenario planteado a cada grupo de ingreso en los experimentos de elección (escenario de inversión realista de acuerdo con el tamaño y las características de su propia vivienda).

Posteriormente, se desarrolló un experimento de elección (ver Louviere et al., 2000), el cual se basa en el enfoque de Lancastrian de que el individuo n deriva utilidad de los atributos o características del bien, en lugar de derivarla del bien en sí mismo (Lancaster, 1966). En un experimento de elección, a los individuos se les presentan opciones repetidas con dos o más alternativas, descritas por atributos y sus niveles. Se supone que los individuos eligen la alternativa que les da la mayor utilidad, y a través de ello revelan sus preferencias. En este estudio, los conjuntos de opciones se componen de dos alternativas genéricas de reacondicionamiento, y se les pidió a los individuos elegir su alternativa preferida[3].

Para analizar las respuestas se aplicó un enfoque logístico de parámetro aleatorio (RPL) (por ejemplo, Train, 2003; Greene y Hensher, 2003), con el objeto de poder considerar la heterogeneidad no observada que está asociada a las opciones que enfrentan los encuestados. Para el modelo RPL, los parámetros -que representan los gustos individuales-, varían entre los tomadores de decisión en la población en lugar de ser fijos. Además, se asumió que estos parámetros son constantes para las elecciones individuales, es decir, los gustos del individuo no varían a medida que se le presentan nuevas opciones. Finalmente, usando las estimaciones de los parámetros para cada atributo[4], y asumiendo una función de utilidad lineal, se estimó la disposición marginal de pago[5] (WTP, por sus siglas en inglés), y la tasa marginal de sustitución[6] (TMS) para cada atributo.

Tabla 1.
**Descripción de atributos y niveles.**

| Atributo | Definición | Niveles |
|---|---|---|
| Ahorro anual | Ahorro derivado del reacondicionamiento de la vivienda como porcentaje del consumo actual. Corresponde a la cantidad de leña ahorrada debido a la reducción en la demanda de calefacción. | - Ahorro: 30%<br>- Ahorro: 50%<br>- Ahorro: 70% |
| Incertidumbre | Nivel de incertidumbre en el cumplimiento de los ahorros esperados. | - 0%<br>- 25%<br>- 50% |
| Instrumento Financiero | Instrumento disponible para financiar la inversión para reacondicionar la vivienda.<br>El corto plazo corresponde a 1 año, el mediano plazo a 4 años y el largo plazo a 20 años.<br>Las opciones de crédito fueron proporcionadas por instituciones externas como bancos u otras instituciones financieras privadas.<br>La opción de "financiamiento mixto" consiste en financiamiento parcial con fuentes propias y en parte por crédito. | - Recursos propios (Esto podría ser ahorros o fondos obtenidos de familiares, amigos u otros medios particulares).<br>- Crédito de corto plazo.<br>- Crédito de mediano plazo.<br>- Crédito de largo plazo.<br>- Financiamiento mixto. |
| Costo de la inversión | Costo total del reacondicionamiento: Este monto cambia de acuerdo al perfil del hogar y el tamaño de la vivienda.<br>1) 50 a 110 $m_2$<br>2) 110 a 170 $m_2$<br>3) 170 $m_2$ y más | 1) $ 3,000,000<br>$ 4,000,000<br>$ 5,000,000<br>2) $ 5,000,000<br>$ 6,000,000<br>$ 7,000,000<br>3) $ 7,000,000<br>$ 8,000,000<br>$ 9,000,000 |

## 3.1. Diseño e implementación de la encuesta

Se utilizó un experimento de elección para estudiar las preferencias de los hogares por diferentes instrumentos para financiar las inversiones en mejoras de eficiencia energética. El experimento de elección y el cuestionario fueron diseñados utilizando información de una serie de focus group, en los cuales participaron jefes de hogar, profesionales del sector público, entre otros. En esta etapa, se descubrió que el monto que se debe invertir en mejoras de eficiencia energética varía considerablemente dependiendo del tamaño de la vivienda, y dependiendo de si el hogar ha implementado previamente alguna mejora. Por otro lado, el ahorro potencial en energía también depende en gran medida de la composición del hogar (número de hijos, ancianos, estudiantes, jubilados, o tipo de trabajo entre otros). Se realizaron varios estudios piloto con hogares para evaluar el diseño de los atributos y los niveles del experimento de elección, así como la redacción del cuestionario y otros aspectos de la encuesta.

Antes de aplicar el experimento de elección, se le describió en detalle el concepto de eficiencia energética y la definición de una mejora de eficiencia energética, así como también la definición de cada atributo y sus niveles. El experimento de elección consistió en dar dos alternativas genéricas de

[3] El desarrollo econométrico de esta fase puede consultarse en la sección Metodología del Working Paper "Financing Energy Efficiency retrofits in chilean households: the role of financial instruments, savings and uncertainty", disponible en :http://www.laceep.org/index.php?option=com_k2&view=item&id=336:financing-energy-efficiency-retrofits-in-chilean-households-the-role-of-financial-instruments-savings-and-uncertainty-alejandra-schueftan-2017&Itemid=87

[4] También disponibles en la sección metodología del working paper indicado en el pie de página anterior.

[5] Cantidad que el individuo está dispuesto a pagar por la característica particular de un producto o servicio. La palabra *marginal* se refiere a que esta cantidad es siempre relativa a una línea base.

Figura 1
**Ejemplo de un conjunto de opciones.**

| Atributo | Reacondicionamiento X | Reacondicionamiento Y | |
|---|---|---|---|
| Costo inversión | $ 3,000,000 | $ 5,000,000 | |
| Instrumento financiero | Crédito externo a corto plazo | Recursos propios | |
| Ahorro | 50% | 70% | |
| Incertidumbre | 25% | 0% | **Status Quo** No hay inversión en eficiencia energética – No hay ahorros |
| Elección | | | |

mejoras para los hogares, y un status quo. Las alternativas se describieron utilizando cuatro atributos: i) el costo de la inversión; ii) el instrumento financiero, iii) los ahorros que podrían lograrse con la inversión, y iv) la incertidumbre de lograr los ahorros previstos. Esta incertidumbre está asociada con aspectos que no se pueden predecir, como el efecto rebote, referido a la posibilidad de que no se ahorre lo previsto porque los usuarios aumentan la temperatura al interior de sus viviendas.

Los instrumentos financieros son las diferentes formas en que se podría pagar la inversión. Se consideraron cinco niveles para este atributo, los que fueron cuidadosamente diseñados después de los focus groups, estudios piloto y mesas redondas con usuarios, formuladores de políticas y expertos en finanzas. Estos niveles se diseñaron con la intención de acercarse lo más posible a la situación inmobiliaria y bancaria real de Chile. Los cinco instrumentos financieros son: i) crédito bancario a corto plazo; ii) crédito bancario a mediano plazo; iii) crédito bancario a largo plazo; iv) recursos propios (ej. ahorros) y v) financiamiento mixto (combinación de recursos propios y crédito).

La Tabla 1 muestra los atributos y niveles del experimento de elección, y la Figura 1 muestra un ejemplo del conjunto de opciones.
Se crearon 20 conjuntos de opciones, divididos en dos grupos. A cada encuestado se le asignaron 10 conjuntos, más un conjunto de opciones adicional (igual en todos los bloques), utilizado al final para evaluar la consistencia. El experimento de elección fue diseñado de manera personalizada, según el tamaño de la vivienda en metros cuadrados. Esta es una característica importante del experimento, que se implementó luego de constatar que los costos de inversión varían entre viviendas de diferentes tamaños.
El experimento de elección se aplicó con posterioridad a una encuesta, la que incluyó cuatro secciones: a) preguntas de actitud y sobre el conocimiento y el uso de la leña, b) información técnica sobre la vivienda e inversiones previas en eficiencia energética, c) presentación del escenario, el experimento de elección y algunas preguntas de seguimiento, y d) antecedentes generales. Finalmente, se agregó una casilla que debía completar el entrevistador para validar la encuesta y la confiabilidad de las respuestas.
La muestra se seleccionó aleatoriamente, a partir de una estratificación por grupo socioeconómico. La encuesta y el experimento se aplicaron al dueño de la propiedad, y no a arrendatarios, a fin de evitar incentivos divididos.

# 4. RESULTADOS

## 4.1. Estadística descriptiva

Las encuestas se realizaron cara a cara entre septiembre y diciembre de 2017 en el área urbana de Valdivia. En total, 216 encuestas estuvieron disponibles para el análisis después de que se eliminaron las respuestas de protesta. Estas últimas corresponden a aquellas en las que se eligió siempre la alternativa de status quo en todos los conjuntos de opciones del cuestionario, incluido el conjunto de opciones utilizado para la prueba de consistencia. En la Tabla 2 se presentan las estadísticas descriptivas de los hogares y los encuestados.

La Tabla 3 presenta la caracterización de los sistemas de calefacción de las viviendas de la muestra y su uso. La recopilación de datos indica que el sistema de calefacción más utilizado es el calefactor a leña (73% de los hogares), seguido de equipos a kerosene y eléctricos, respectivamente. El gasto en

[6] Cantidad de unidades de un bien al que está dispuesto a renunciar un individuo para obtener una unidad más de otro bien. En este caso, se refiere a la "cantidad" del atributo o característica específico.

Tabla 2.
**Estadística descriptiva para las variables socioeconómicas.**

| Características del encuestado | |
|---|---|
| Proporción mujeres | 50,9% |
| Edad promedio | 44 |
| Educación promedio | Universitario |
| **Características del hogar** | |
| Cantidad de miembros promedio | 3 |
| Cantidad de niños promedio | 1 |
| Ingreso mensual promedio (CLP) | $ 2.123.000 (USD $2.874) |
| Miembro de una Organización Medioambiental | 15,27% |

Tabla 3.
**Sistemas de calefacción.**

| Sistema de calefacción utilizado en el hogar | |
|---|---|
| Calefactores a leña | 73% |
| Caldera a leña | 5% |
| Gas | 6% |
| Kerosene | 12% |
| Electricidad | 11% |
| Otros | 18% |
| Gasto anual en calefacción | $ 454.917 CLP |
| Total de horas diarias promedio de calefacción desde la fuente primaria | 14 horas |
| Hogares que perciben que sus casas están bien calefaccionadas | 83 % |

Tabla 4.
**Declaraciones.**

| Declaraciones | |
|---|---|
| Están de acuerdo en que la leña produce contaminación ambiental | 53,0% |
| Están de acuerdo en que el gas produce contaminación ambiental | 88,5% |
| Buscarían créditos para mejorar la eficiencia energética de sus viviendas | 48,4% |
| Invertirían en eficiencia energética solo si reciben un subsidio | 74,2% |
| El Estado debería entregar subsidios solo a hogares de bajos ingresos | 33,2% |
| Reconocen que sus calefactores generan contaminación intradomiciliaria | 31,8% |

calefacción de la muestra es de alrededor de $64.000 pesos chilenos por mes durante el invierno, lo que equivale al 4% del ingreso mensual promedio de los hogares. Cabe destacar que el estudio aborda solo grupos de ingresos medios y altos.
La Tabla 4 muestra algunas de las declaraciones incluidas en el cuestionario. Cuarenta y ocho por ciento de los hogares están dispuestos a recurrir a créditos para mejorar la eficiencia energética de sus viviendas. Sin embargo, es curioso que a pesar de que este estudio se realiza con hogares de ingresos medios y altos, solo el 74% invertiría en mejoras si obtiene algún subsidio. La mayoría de los encuestados declaran que la leña y el gas son fuentes de energía contaminantes, y más del 31% de los hogares piensan que su sistema de calefacción genera contaminación al interior de la vivienda.

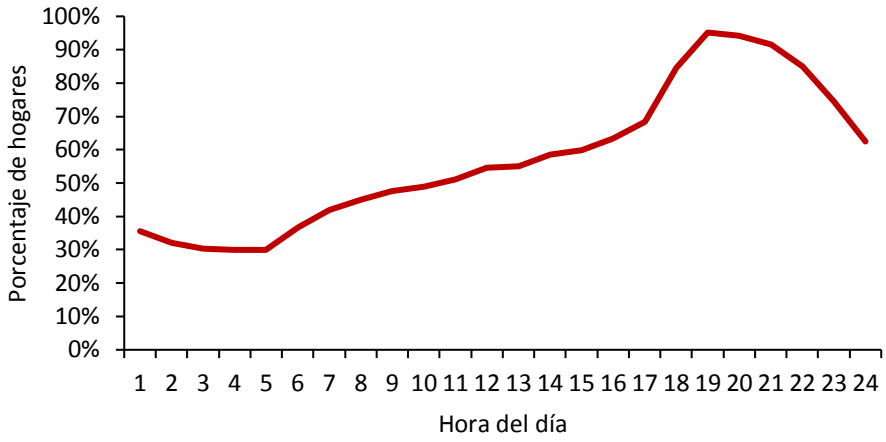
Gran parte de las familias utilizan sus calefactores entre las 7 p.m. y 9 p.m. (Figura 2), cuando las personas llegan a casa. En general, los calefactores a leña no son automáticos y se usan de manera intermitente (se encienden y apagan durante todo el día). En promedio, los hogares mantienen el calefactor encendido 14 horas al día. El encendido y apagado de los calefactores determina períodos fríos dentro de la casa que reducen las condiciones de confort (generalmente cuando las personas llegan después del trabajo o en las mañanas cuando se levantan y el calefactor está apagado).

En la Tabla 5 se muestra la cantidad de hogares que han invertido en mejoras de eficiencia energética en sus viviendas, el monto que han invertido y el instrumento que utilizaron para financiarlas. En total, el 52% de los hogares ha invertido en estas medidas en los últimos dos años. Los hogares del nivel de ingresos más alto realizan una cantidad de mejoras significativamente menor que las del nivel de ingresos más bajo del estudio. Esto es esperable ya que las familias de ingresos más altos generalmente tienen casas más nuevas y mejor construidas y, por lo tanto, tienen menor necesidad de invertir. Por otro lado, no hay diferencias significativas en el monto invertido entre hogares del segundo y tercer nivel de ingresos (1.5 a 3.5 millones de pesos chilenos, o USD $ 1,900 - USD $ 4,500 por mes); mientras que los hogares del nivel de ingresos más bajo invierten menos, lo cual se explica debido a su menor capacidad de pago. Sin embargo, la diferencia encontrada no es sustancial.
Por otro lado, el tipo de inversión o mejora implementada en las casas varía entre los niveles de ingresos; mientras que los hogares en el primer nivel de ingresos priorizan la aislación de muros externos, los hogares en el segundo nivel de ingresos lo hacen en aislación de techumbre, y los hogares en los dos niveles de ingresos más altos

tienden a invertir más en el reemplazo de ventanas, siendo su segunda prioridad la aislación externa de muros y techumbres.

También es importante analizar la fuente de financiamiento que los hogares utilizaron para realizar las mejoras. La Tabla 6 muestra cuáles son estas fuentes, por nivel de ingreso. Se observa que la mayor parte de los hogares utilizan recursos propios o una combinación de instrumentos para financiar inversiones en eficiencia energética. La pregunta que surge aquí es si una mayor disponibilidad de crédito incentivaría a estos hogares a invertir más y, en ese caso, qué tipo de crédito (a corto, mediano o largo plazo) preferirían.

Figura 2.
**Porcentaje de hogares que usan calefacción a lo largo del día.**




## 4.2 Resultados econométricos

Como se indicó en la sección 3, para el análisis econométrico de los datos se estimó un modelo logístico de parámetro aleatorio, en el que se incluyeron distintos factores que pueden influir en la probabilidad de que los hogares reacondicionen sus viviendas. Los resultados se presentan en la Tabla 7. Todos los parámetros estimados fueron significativos a un nivel de confianza del 99%. Se observa que el parámetro Inversión es negativo, lo que significa que aumentos en el monto a invertir reducen la probabilidad de que los hogares implementen mejoras. Por otro lado, las personas prefieren mejoras que generan un mayor ahorro para el hogar. Finalmente, los hogares prefieren aquellas inversiones que tienen un menor grado de incertidumbre. Ésta es una variable controvertida, ya que parte de esta incertidumbre tiene relación con el comportamiento de la persona, lo que es difícil de conocer y predecir. Por otra parte, se observa que todos los parámetros asociados a la alternativa "Recursos Mixtos" son negativos y significativos, lo que indica que los hogares de ingresos medios-altos prefieren financiar el reacondicionamiento térmico de sus viviendas utilizando una combinación de recursos propios (tales como ahorros) y créditos. La segunda opción preferida fue el crédito a mediano plazo, seguido por el crédito a corto plazo y el financiamiento propio, respectivamente. El instrumento financiero menos preferido fue el crédito a largo plazo. Este es un resultado muy interesante desde un punto de vista de política pública, dado que el gobierno chileno ha estado trabajando en el diseño e implementación de incentivos vinculados a las hipotecas, que son básicamente créditos a largo plazo (públicos o privados) para financiar mejoras de eficiencia energética. Es posible que esta política no sea eficaz, ya que es la opción menos preferida por los hogares.

Por otra parte, en Chile se están implementando "eco-créditos" que financian, con una tasa preferencial, la adquisición de viviendas nuevas de proyectos inmobiliarios que cuenten con Calificación Energética con letra D o superior, validada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). Esta herramienta financia hasta el 90% del valor de la propiedad y el plazo de pago puede ser entre 8 y 30 años. Si bien, esta herramienta ofrece tasas atractivas, el pago es a largo plazo, lo que representaría una desventaja a la luz de estos resultados.

En la Tabla 7 también se puede observar que las desviaciones estándar de todos los parámetros aleatorios son significativas, excepto para el crédito a corto plazo, lo que deja en evidencia la heterogeneidad no observada en las preferencias de los encuestados. Para evaluar el ajuste del modelo, se presentan valores de log-verosimilitud y el criterio de información bayesiano (BIC).

En la Tabla 8 se muestra el cálculo de las tasas marginales de sustitución (TMS) para distintos atributos del instrumento financiero (plazos y ahorros asociados). Las TMS se calcularon a partir de los parámetros estimados por el método Delta. Se utilizó el nivel "recursos propios" como denominador, lo que significa que

Tabla 5.
**Tipo de inversión en mejores de eficiencia energética por nivel de ingreso.**

| Nivel de ingreso (millones de CLP) | Nº de casos que invirtieron mejoras | % de casos que invirtieron mejoras | Aislación de techumbre | Aislación del piso | Aislación de muro exterior | Sellado de fugas de aire | Reemplazo de ventanas | Cambio sistema de calefacción | Sistema de ventilación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 – 1.5 | 42 | 48,3% | 26,2% | 2,4% | 45,2% | 40,5% | 35,7% | 14,3% | 2,4% |
| 1.5 – 2.5 | 31 | 51,7% | 51,6% | 16,1% | 38,7% | 32,3% | 48,4% | 12,9% | 0,0% |
| 2.5 – 3.5 | 14 | 56,0% | 35,7% | 0,0% | 50,0% | 28,6% | 71,4% | 14,3% | 0,0% |
| 3.5 – 4.5 | 26 | 13,6% | 41,9% | 11,5% | 22,7% | 22,7% | 57,7% | 38,5% | 3,8% |
| Toda la muestra | 113 | 52,3% | 19,9% | 4,2% | 20,3% | 17,1% | 25,5% | 10,2% | 0,9% |

las TMS indican cuánto están dispuestos a ceder los individuos en alguno de los cuatro atributos, para agregar una unidad más de recursos propios como atributo del financiamiento. Las TMS son relevantes para el diseño de los créditos, ya que permiten estimar la relación entre el aporte propio y el financiamiento bancario.

Finalmente, se pidió a los encuestados que indicaran el grado de importancia que le dieron a cada uno de los atributos presentados en los experimentos de elección, después de realizar las elecciones. Los resultados se presentan en la Tabla 9. Curiosamente, el atributo más relevante al decidir invertir en reacondicionamiento térmico fue el instrumento financiero (78% de los encuestados). Por el contrario, sólo el 34% de los encuestados mencionaron a la incertidumbre como un atributo relevante. Esto puede deberse a la creencia de que las personas conocen su propio comportamiento y pueden controlar el uso de energía, o simplemente a una baja comprensión del atributo. El segundo atributo que se consideró más relevante fue el ahorro potencial en calefacción (63% de los encuestados), y el tercero fue el costo de la inversión.

## 5. CONCLUSIONES

El objetivo general de este trabajo fue estudiar el papel de diferentes tipos de instrumentos financieros, de sus beneficios potenciales (ahorro) y de la incertidumbre, a la hora de tomar la decisión de invertir y adoptar medidas de eficiencia energética (reacondicionamiento térmico de las viviendas) en hogares de ingresos medios y altos de Valdivia. Esto es relevante, pues la contaminación atmosférica que afecta a las ciudades del centro y sur de Chile se debe al alto consumo de energía (leña) para calefacción.

Se asume que los hogares de ingresos medios y altos tienen más posibilidades de realizar estas inversiones. El estudio considera escenarios realistas, tanto en términos del análisis del consumo de energía de las viviendas (en base a modelaciones térmicas), como de los atributos que se establecieron y los niveles para dichos atributos. Además, se utiliza una metodología de experimentos de elección para analizar los instrumentos financieros preferidos por los tomadores de decisión, y la valoración de sus características (costos de inversión, ahorro de energía e incertidumbre). Esta combinación no ha sido explorada en la literatura existente.

Los resultados muestran que todos los atributos estudiados fueron significativos, y con la tendencia esperada. El "tipo de instrumento financiero" fue el atributo más considerado por los tomadores de decisión, seguido por el ahorro potencial en energía, mientras que la incertidumbre fue el atributo menos considerado. Esto puede deberse a que, por un lado, las personas piensan que pueden adaptarse a cambios no esperados, y por otro, a una baja comprensión del atributo.

El instrumento financiero preferido fue "Recursos Mixtos", es decir, la probabilidad de que familias de ingresos medios y altos realicen mejoras de eficiencia energética en sus viviendas aumenta cuando pueden financiar parte del costo con un crédito externo, y el resto con fuentes propias, como ahorros. Con respecto al crédito, se observó que el crédito a mediano plazo (cuatro años) fue más preferido que el crédito de corto plazo (un año) y largo plazo (10 años o más). El ahorro siempre fue una opción bien considerada, especialmente para hogares de ingresos más altos, mientras que el instrumento financiero menos preferido fue el crédito a largo plazo. Estos resultados son de gran relevancia para el diseño de políticas que promueven el reacondicionamiento térmico de viviendas. Actualmente, buena parte de los instrumentos

Tabla 6.
**Tipos de financiamiento para reacondicionar viviendas por nivel de ingreso.**

| Nivel de ingreso (Millones de CLP) | Nº de viviendas | Ahorro | Crédito | Subsidio | Otro |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 – 1.5 | 42 | 54,8% | 26,2% | 19,1% | 23,8% |
| 1.5 – 2.5 | 31 | 71,0% | 22,6% | 6,4% | 3,2% |
| 2.5 – 3.5 | 14 | 28,6% | 35,7% | 7,1% | 21,4% |
| 3.5 – 4.5 | 26 | 57,7% | 19,2% | 0,0% | 65,4% |

Tabla 7.
**Resultados del modelo logístico de parámetro aleatorio.**

| Alternativas | Estimación del Parámetro medio | Desviación Estándar |
|---|---|---|
| Inversión | -0,38 (0,58) | 0,32 (0,43) |
| Crédito de largo plazo | -1,51 (0,19) | 1,41 (0,25) |
| Crédito de mediano plazo | -0,71 (0,18) | 0,71 (0,28) |
| Crédito de corto plazo | -0,78 (0,16) | 0,16 (0,37) |
| Recursos propios | -0,94 (0,16) | 1,49 (0,18) |
| Ahorros | 0,04 (0,003) | 0,03 (0,003) |
| Incertidumbre | -5,30 (0,42) | 0,03 (0,003) |
| Constante | -0,0013 (12,82) | 2,35 (0,28) |
| Log-verosimilitud al max | -2371,9 | |
| BIC | 1,44 | |
| Número de Observaciones | 2170 | |

Tabla 8.
**Tasas marginales de sustitución para instrumentos financieros y ahorro.**

| Atributo | Tasa Marginal de Sustitución |
|---|---|
| Crédito de largo plazo | -1,61 (0,312) |
| Crédito de mediano plazo | -0,76 (0,187) |
| Crédito de corto plazo | -0,83 (0,162) |
| Ahorros | 0,41 (0,008) |

* Nota: error estándar entre paréntesis.

Tabla 9.
**Grado de consideración de cada atributo.**

| Atributo | % de encuestados[1] |
|---|---|
| Instrumento financiero | 77,9 |
| Ahorros en calefacción | 63,1 |
| Costo de inversión | 56,7 |
| Incertidumbre | 34,0 |

[1] Porcentaje de encuestados que evaluaron el atributo como "casi siempre o siempre fue considerado

financieros que se están desarrollando para mejorar las viviendas corresponden a créditos de largo plazo. Este análisis no consideró las variables número de cuotas y tasas de interés, ya que, dada la correlación entre éstas y el costo de inversión, no fue posible incluirlas en el mismo conjunto de opciones. Por lo tanto, esto es algo que debería considerarse en el diseño de los instrumentos.

Por otro lado, el monto que las personas están dispuestas a invertir en mejoras de eficiencia energética, para todos los grupos de ingresos, es mayor a la esperada, lo que podría explicarse por las campañas educativas implementadas en los últimos años como parte del PDA. Aunque el monto es alto, el foco de la intervención no siempre es el óptimo, priorizándose el reemplazo de ventanas (medida visible) por sobre la aislación de techumbres (medida más eficiente pero menos visible). Además, inversiones en diferentes medidas de eficiencia energética difieren significativamente entre niveles de ingresos, lo que indica que las políticas deberían diferenciarse de acuerdo al perfil de los usuarios.

Además, es importante destacar la necesidad de implementar instrumentos de financiamiento público y privado combinado, para programas de intervención a mayor escala en países en transición como Chile, ya que los hogares de ingresos medios y altos tienen mayores posibilidades de acceso a financiamiento. Los instrumentos financieros dirigidos a estos grupos son importantes y el Estado debe involucrarse tanto en la implementación de los incentivos (subsidios, créditos preferenciales, etc.) como en el proceso operativo que lo sustenta (supervisión, capacitación, etc.). Esto, junto con el desarrollo y el fortalecimiento de campañas de concientización e información y programas educativos, dirigidos a los diversos actores del sector energético y los consumidores finales, permitirán mejores prácticas de eficiencia energética.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Programa de Economía Ambiental de América Latina y el Caribe (LACEEP) por su financiamiento y a los miembros del comité científico por sus valiosos comentarios y sugerencias.

## 6. REFERENCIAS

**Barría, R.M. 2012.** Contaminación área intradomiciliaria por material particulado fino (MP2,5) e incidencia de infección respiratoria aguda en los primeros 6 meses de vida. Tesis de doctorado, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

**BID (Banco Inter-Americano de Desarrollo). 2015.** Propuestas Para un Programa de Eficiencia Energetica en Viviendas Existentes en Chile: El Caso de los Sectores de Ingresos Medios y Altos. División de Energía (INE/ENE) Banco Interamericano de Desarrollo.

**Bustamante, W., Cepeda, R., Martínez, P., Santa María, H. 2009.** Eficiencia Energética en la Vivienda Social, un Desafío Posible. Camino al Bicentenario: Propuestas para Chile. Santiago.

**Calvo, R., Amigo, C., Billi, M., Cortés, A., Mendoza, P., Tapia, R., Urquieta, M., Urquiza, A. 2019.** Acceso Equitativo A Energía De Calidad En Chile. Hacia Un Indicador Territorializado Y Tridimensional De Pobreza Energética. Red de Pobreza Energética.

**Gates, R. 1983.** Investing in energy conservation: Are homeowners passing up high yields? Energy Policy 11, 63–71.

**Greene, W., H., Hensher, D.A. 2003.** A latent class model for discrete choice analysis: contrasts with mixed logit. Transportation Research Part B: Methodological 37, 681-698.

**Gustavsson, L., Joelsson, A. 2007.** Energy conservation and conversion of electrical heating systems in detached houses. Energy and Buildings 39, 717-726.

**Lancaster, K.J. 1966.** A new approach to consumer theory. The Journal of Political Economy 74, 132-157.

**Louviere, J.J., Hensher, D.A., Swait, J.D. 2000.** Stated choice methods: analysis and applications, Cambridge University Press, Cambridge.

**Motherway, B., Halpin, T. 2010.** Bringing Energy Home. Understanding how people think about energy in their homes. SEAI (Sustainable energy authority or Ireland) Report. Septiembre.

**OMS (Organización Mundial de la Salud). 1987.** Health impact of low indoor temperatures. Report on a WHO meeting. Copenhague, Dinamarca, 36 p.

**Reyes, R., Nelson, H., Navarro, F., Retes, C. 2015.** The fuelwood dilemma: Human health in a broader context of well-being in Chile. Energy for Sustainable Development 28, 75–87.

**Reyes, R. 2017.** Consumo de combustibles derivados de la madera y transición energética en la Región de Los Ríos, periodo 1991-2014. En: Informes Técnicos BES, Bosques - Energía - Sociedad, Año 3. N° 6. Enero 2017. Observatorio de los Combustibles Derivados de la Madera OCDM. Instituto Forestal, Chile. p. 20.

**Ruiz-Tagle, J.C., Schueftan, A. 2019.** Reducing Air Pollution through Behavioral Change of Wood-Stoves Users: Evidence from an RCT in Valdivia, Chile. IDB Working Paper Series.

**Train, K. 2003.** Discrete choice methods with simulation. Cambridge University Press. Nueva York.

**Scott, S. 1997.** Household energy efficiency in Ireland: A replication study of ownership of energy saving items. Energy Economics 19, 187- 208.

**Zundel, S., Stiess, I. 2011.** Beyond profitability of energy-saving measures – Attitudes towards energy saving. Journal of Consumer Policy 34, 91-105.




Imagen 3.
**Aislación continua en muros en vivienda de alto desempeño energético en Valdivia.**

# BES

BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD

Número 10 | DIC. 2019

Proyecto apoyado por CORFO

Ministerio de Energía
Gobierno de Chile