

LA DEMANDA RESIDENCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CHILE*

Claudio A. Agostini**
M. Cecilia Plottier***
Eduardo H. Saavedra****

I. INTRODUCCIÓN

Desde principios de la década de los noventa, la demanda de energía eléctrica en Chile ha mostrado un crecimiento sostenido¹. En general, este aumento del consumo ha venido acompañado por incrementos de la oferta, aunque han existido inconvenientes para satisfacer la demanda en algunos períodos. Tanto sequías como dificultades con el abastecimiento de gas desde países vecinos, en particular Argentina, han afectado negativamente la generación de electricidad. De hecho, a causa de la variabilidad hidrológica de la zona central del país, así como de la volatilidad en la disponibilidad de gas, ha sido inevitable sufrir algunos episodios de escasez de energía eléctrica (Díaz et al., 2000 y 2001; Galetovic et al., 2004). En ocasiones, en estos períodos de caída de la oferta, se han aplicado medidas de racionamiento e incluso cortes de suministro a los consumidores².

Ante un contexto poco favorable a principios del año 2008, el gobierno chileno tomó una serie de medidas para reducir el consumo de energía eléctrica, buscando evitar cortes en el abastecimiento³. Algunas de estas se orientaron hacia la demanda residencial, promoviendo el uso de ampolletas de bajo consumo, prorrogando el horario de verano y buscando incentivar el ahorro de energía a través de campañas publicitarias. En 2008, se realizó también una modificación de precios, incorporando el mes de abril en la medición de horas punta del sistema, lo cual según las autoridades permitió reducir la demanda en 3,7 GWh promedio diario durante sus días de aplicación. Además, entre marzo y octubre del 2008, se aplicó el decreto de racionamiento preventivo, que autoriza a los distribuidores a interrumpir el servicio y fuerza a compensar a los usuarios regulados. Se estableció una reducción de hasta 10% en la tensión

* Los autores agradecen el apoyo del Ministerio de Planificación, propietario intelectual de la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional, Casén 2006. No obstante, los resultados y análisis que entrega este trabajo son de nuestra única y exclusiva responsabilidad. Agradecemos también los valiosos comentarios de dos árbitros anónimos y del editor.

** Escuela de Gobierno, Universidad Adolfo Ibáñez, Chile. Email: claudio.agostini@uai.cl

*** Departamento de Economía, Universidad Católica del Uruguay. Email: cplottie@ucu.edu.ur

**** Ilades-Universidad Alberto Hurtado, Chile. Email: saavedra@uahurtado.cl

¹ Según datos de la Comisión Nacional de Energía entre 1990 y 2007 las ventas totales de energía eléctrica del país crecieron a una tasa promedio anual superior al 8%. A partir del año 2000 el crecimiento fue menor que el de los años previos, pero aún así aumentó sostenidamente un 5,7% promedio anual. Solamente en 2008 cayó el consumo de energía eléctrica.

² En 1989 y 1990, los clientes debieron reducir su consumo en 10% durante aproximadamente 45 días. En 1998 y 1999, el suministro fue racionado y se produjeron cortes de luz a clientes regulados (Serra, 2002). En 2008 y 2011 se redujo en 10% el voltaje en los centros urbanos para hacer frente a la sequía.

³ Las razones del riesgo energético fueron una sequía sostenida, menores volúmenes de gas importados desde Argentina y un alto precio internacional de los combustibles, un mayor período de reparaciones en la central Nehuenco y deshielos menores que los pronosticados.

nominal del suministro eléctrico de las distribuidoras, se flexibilizó el uso de los recursos hídricos con el objetivo de contar con mayores reservas y márgenes de seguridad y se promovió también una campaña de ahorro en el sector público, entre otras medidas tomadas entre 2007 y 2008.

Finalmente, en noviembre del 2008 se dio por finalizado el período de estrechez energética, y entre marzo y octubre del mismo año se registró, por primera vez en mucho tiempo, una disminución del consumo eléctrico promedio con respecto a igual período del año anterior ($-1,61\%$). Por tanto, si bien la demanda de energía eléctrica ha mostrado una sostenida tendencia creciente, ante un episodio de escasez de oferta como el del 2008 fue posible reducir el consumo. El escenario se repitió en 2011, donde a raíz de la sequía el gobierno autorizó una disminución de 10% en el voltaje en zonas urbanas y de $12,5\%$ en zonas rurales, junto a una nueva campaña de eficiencia energética y ahorro en el consumo del sector público.

En este contexto, con una demanda por electricidad que sigue creciendo y una oferta que resulta insuficiente en ciertos períodos, profundizar en el conocimiento del comportamiento de los agentes respecto al consumo de electricidad genera información fundamental para la regulación eficiente del sector, y puede abrir opciones de política ante casos de escasez temporal.

En ese sentido, este trabajo contribuye a identificar los determinantes de la demanda de energía eléctrica de los hogares⁴, en particular las elasticidades precio e ingreso. Para ello se estima la demanda de energía eléctrica residencial usando información de la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (Casén) 2006. La principal ventaja de esta información es su grado de desagregación por unidad económica (hogar), contando además con datos para todo el país y con información del nivel de ingresos y otras características sociodemográficas relevantes, lo que constituye una innovación respecto de estudios anteriores⁵. Adicionalmente, la especificación econométrica proviene de una función de demanda con microfundamentos, derivada de una función de utilidad de elasticidad de sustitución constante (CES) para el consumo de energía de los hogares, lo cual permite una interpretación estructural de los parámetros estimados.

Los resultados obtenidos para la elasticidad precio son bastante consistentes con estudios previos, con una elasticidad estimada entre $-0,38$ y $-0,40$ para el consumo residencial. La elasticidad cruzada respecto al precio del gas licuado se encuentra robustamente entre $0,14$ y $0,16$, y la elasticidad ingreso, entre $0,11$ y $0,12$. Los resultados muestran además, tal como se esperaba, que el consumo por hogar es significativamente mayor en Santiago que en regiones y en zonas urbanas que en zonas rurales, si bien las elasticidades precio no son estadísticamente distintas.

Sin duda, lo más relevante de estos resultados es que la elasticidad precio encontrada de $-0,4$ respalda la adopción de políticas de manejo de la demanda como parte de una política más amplia de eficiencia energética que sirva para hacer frente a *shocks* negativos de oferta de energía eléctrica. Este resultado específico es consistente con los de Benavente et al. (2005a) y Acuña (2008), y fortalece las propuestas de trabajos que plantean, como una opción real para evitar el racionamiento de energía eléctrica residencial, el uso de una mayor flexibilidad del precio de la

⁴ El consumo residencial representó 16% de la demanda nacional total de energía eléctrica y 31% de las ventas de las distribuidoras (años 2006 y 2007).

⁵ Con la excepción de Acuña (2008), que también usa datos de hogares.

energía eléctrica (Díaz et al., 2001; Chumacero et al., 2000; Benavente et al., 2005b). Un sistema con ajuste automático de precios podría dar los incentivos correctos para que los consumidores tomen decisiones eficientes sin que ocurran cortes. En teoría, el sistema de precios chileno permite la asignación eficiente de la energía en períodos de escasez. Sin embargo, ante situaciones de exceso de demanda en el pasado, no lo ha hecho, y la falta de flexibilidad en la fijación del precio regulado de la energía eléctrica y la complejidad del sistema de compensaciones fueron motivos que estuvieron tras esta falla (Díaz et al., 2000; Benavente et al., 2005a)⁶.

Al contrario del caso de países desarrollados, en Chile la literatura económica empírica es relativamente escasa respecto a la demanda de energía eléctrica residencial, en especial en el uso de microdatos de hogares, ya que casi todos los trabajos utilizan datos agregados. En Benavente et al. (2005b), se estima la demanda residencial de electricidad utilizando datos de panel de ventas mensuales de energía de 18 distribuidoras del Sistema Interconectado Central (SIC) para el período comprendido entre enero de 1995 y diciembre del 2001. Sus resultados muestran que, si bien la magnitud de la elasticidad precio es relativamente pequeña ($-0,0548$ en el corto plazo y $-0,39$ en el largo plazo), tiene un impacto económico significativo que puede explicar una fracción importante del aumento de la demanda en períodos en los que los precios han disminuido. Por otra parte, Chumacero et al. (2000) estiman las elasticidades precio e ingreso de la demanda agregada total (no solo residencial) utilizando información mensual de generación total del SIC y precios de nudo. Sus resultados muestran una elasticidad precio de corto plazo entre $-0,09$ y $-0,02$, que sus autores señalan puede ser menor que la efectiva residencial por haber supuesto que la demanda de clientes regulados es una fracción constante de la demanda total. Estos valores son similares a los obtenidos por la Comisión Nacional de Energía (1986), donde se estimó la demanda agregada con datos anuales y se obtuvo una elasticidad precio entre $-0,09$ y $-0,04$. Finalmente, Acuña (2008) estima la demanda de energía eléctrica con datos desagregados y obtiene una elasticidad precio de $-0,73$, muy superior en magnitud al resto de la literatura incluyendo este trabajo; mientras que Marshall (2010) estima con datos agregados y obtiene elasticidades precio entre $-0,37$ y $-0,44$.

El resto del artículo se organiza del siguiente modo. La sección II revisa la literatura de demanda por energía eléctrica. La sección III desarrolla un modelo de demanda microfundado que determina la forma funcional de la demanda a estimar y luego presenta un análisis de los datos utilizados. La sección IV presenta las estimaciones y analiza los principales resultados. Finalmente, la sección V concluye. Se han agregado en un anexo las características generales del mercado eléctrico y del consumo de energía de los hogares en Chile, para contextualizar la demanda residencial de energía eléctrica residencial del país.

II. CONSIDERACIONES TEÓRICAS Y EVIDENCIA EMPÍRICA

1. Demanda derivada de corto y largo plazo

La demanda de energía eléctrica es una demanda derivada, ya que se utiliza como fuente de energía para el funcionamiento de aparatos y equipos, que son los que proveen el servicio final que demandan los usuarios. En general, la decisión de consumo de energía eléctrica

⁶ Díaz et al. (2000 y 2001) presentan una detallada discusión acerca de las causas de la falta de ajuste, estableciendo que una intervención más decidida de las autoridades podría haber permitido un mejor manejo de la escasez.

residencial tiene tres componentes que están estrechamente relacionados y se retroalimentan entre sí: (i) la decisión de comprar o remplazar un bien durable que provee un servicio al hogar (calefacción, iluminación, cocina, entretenimiento, etc.), (ii) la decisión de las características técnicas del aparato y la energía que utiliza el mismo para proveer el servicio⁷, y (iii) la frecuencia e intensidad de la utilización de los equipos adquiridos.

De esta forma, la energía eléctrica no genera utilidad en sí misma a los consumidores, sino que contribuye indirectamente al ser un insumo para procesos o actividades cuyo resultado sí les reporta utilidad a los individuos en el hogar (Taylor, 1975). Estos procesos que generan utilidad y necesitan electricidad para funcionar, requieren de inversión en bienes durables, por lo que es necesario separar entre la demanda de corto plazo donde el *stock* de bienes durables se considera dado —y entonces la decisión económica relevante es de la frecuencia o intensidad de uso—, y la demanda de largo plazo donde los consumidores pueden modificar su *stock* de bienes durables.

Si bien conceptualmente es importante separar entre demanda de corto y de largo plazo, su identificación empírica no es trivial. Uno de los trabajos pioneros en hacerlo es el de Fisher y Kaysen (1962), que identifica las elasticidades de corto plazo controlando directamente por el *stock* de equipos y las de largo plazo a partir de una segunda ecuación que modela la demanda de equipos. Sin embargo, este enfoque requiere datos de *stock* de equipos, lo cual es una limitación importante.

Es así como los modelos de ajuste parcial surgen como una alternativa más factible, ya que no requieren de información sobre el *stock* de equipos. La idea principal tras estos modelos es que el consumo deseado es el que realizarían los consumidores si el *stock* de equipos estuviera en el óptimo de largo plazo, lo cual no sucede debido al costo de ajustar las existencias de equipos instantáneamente ante cambios en los precios (Berndt y Samaniego, 1984; Benavente et al., 2005a). De esta forma, es posible modelar el consumo de energía presente en función del consumo de energía pasado y parámetros que miden la velocidad de ajuste, pudiendo distinguir entonces la elasticidad de corto de la de largo plazo. Una de las desventajas, sin embargo, es que los modelos dinámicos muestran mayor inestabilidad en sus resultados (Dahl, 1993).

Un tercer enfoque explorado, en algún grado complementario, es el de estimar demandas condicionales, el cual considera el consumo de energía condicional en el *stock* y la heterogeneidad de los aparatos en el hogar junto a la decisión de compra de equipos (Parti y Parti, 1980; Bartels y Fiebig, 2000; Reiss y White, 2005). La mayor limitación en este caso se encuentra en la disponibilidad de datos de panel que además, incluyan información detallada sobre los equipos presentes en los hogares en cada período.

En general, no existe consenso en la literatura respecto a la mejor forma de identificar las elasticidades relevantes de la demanda por electricidad y la mayoría de los trabajos, tal vez por disponibilidad de datos, utiliza modelos uniecuacionales. Sin embargo, hay mayor consenso respecto a la interpretación de las estimaciones, dependiendo del tipo de datos utilizados. Es así como estimaciones con datos de corte transversal se consideran de largo plazo y con

⁷ Las características técnicas son las más relevantes debido a que afectan el consumo de energía, pero también influyen en la decisión el diseño, el tamaño y las demás funciones adicionales por encima del servicio básico que presta el equipo.

datos de series de tiempo como de corto plazo (Bohi y Zimmerman, 1984). En ese sentido, la utilización de datos desagregados de panel permitiría estimar elasticidades de corto y largo plazo simultáneamente (Dahl, 1993).

2. Evidencia empírica

Conceptualmente, un aumento del precio de la energía puede dar lugar a una disminución del consumo del servicio para el que se utiliza dicha energía (y por ende a una disminución del consumo de energía) o a la sustitución entre energéticos. Adicionalmente, al ser una demanda derivada, un incremento de precios puede llevar a inversiones adicionales que permitan obtener el mismo nivel de servicio final sin necesidad de aumentar el gasto en la misma fuente de energía o sustituir la fuente de energía por otra (Sweeney, 1984). Un buen ejemplo de este último efecto es el servicio de calefacción, donde una alternativa es invertir en mayor aislamiento térmico en vez de utilizar otra fuente energética. Obviamente, este efecto requiere un ajuste de mayor plazo al igual que el ajuste en el *stock* de equipos (con mayor eficiencia energética los más nuevos), razón por la cual la elasticidad precio de corto plazo debiera ser menor que la de largo plazo, en términos absolutos. La pregunta relevante en la literatura se concentra entonces en determinar la magnitud de las elasticidades.

La evidencia empírica internacional muestra resultados para la elasticidad precio de largo plazo en un rango acotado entre $-0,7$ y -1 (Taylor, 1977; Bohi y Zimmerman, 1984; Sweeney, 1984; Dahl, 1993)⁸. En el corto plazo, las estimaciones de la elasticidad precio se encuentran en un rango entre $-0,2$ y $-0,4$ (Fisher y Kaysen, 1962; Anderson, 1973; Taylor, 1977; Dubin y McFadden, 1984; Bohi y Zimmerman, 1984; Dahl, 1993; Reiss y White, 2005).

Existe algo de evidencia también en cuanto a que la elasticidad precio sería decreciente respecto al nivel de ingreso de los hogares (Reiss y White, 2005), es decir, más inelástica con mayores ingresos, y también respecto a que sería menor en verano que en invierno, lo cual puede interpretarse como una menor capacidad de sustitución de los equipos eléctricos de frío en relación con la calefacción (Dahl, 1993; Filippini, 2002). La evidencia existente en la literatura es mayoritariamente para países desarrollados: Estados Unidos, Suiza, Inglaterra, Dinamarca, Noruega y Australia; y en menor grado para algunos países más pobres: India (Bose y Shukla, 1999; Filippini y Pachauri, 2002); Namibia (De Vita et al., 2006); Chipre (Zachariadis y Pashourtidou, 2007) y Líbano (Nasr et al., 2000), por lo que las comparaciones respecto de Chile pueden no ser tan relevantes. Una excepción es el artículo de Galindo (2005) para México, que utilizando datos agregados estima una elasticidad precio de corto plazo entre $-0,18$ y $-0,24$, y una elasticidad ingreso entre $0,5$ y $0,8$.

Las estimaciones para la elasticidad ingreso, por otro lado, son bastante sensibles al tipo de datos utilizados. Estimaciones con datos de hogares muestran elasticidades ingreso en torno a $0,4$ y menores; mientras que las estimaciones con datos agregados muestran elasticidades superiores, en un rango entre $0,5$ y 1 .

Como se mencionó en la introducción, en comparación con países desarrollados, para el caso de Chile la evidencia empírica es relativamente escasa e infrecuente. En particular, la

⁸ La mayor parte de los estudios son para Estados Unidos o el Reino Unido.

evidencia empírica a partir de microdatos de consumidores finales es casi inexistente. Un primer esfuerzo por estimar la elasticidad precio de la demanda fue realizado por la CNE (1986) que utilizando datos agregados estimó una elasticidad de corto plazo entre $-0,09$ y $-0,04$. Casi quince años después, también con datos agregados, Chumacero et al. (2000) estiman una elasticidad precio de corto plazo entre $-0,099$ y $-0,024$. Posteriormente, utilizando datos de panel de ventas de distribuidoras, Benavente et al. (2005a) estiman una elasticidad precio de $-0,0548$ en el muy corto plazo (un mes), de $-0,27$ en el corto plazo (un año) y de $-0,39$ en el largo plazo (más de un año). Luego, Acuña (2008) utiliza un corte transversal de datos de hogares para 2006 y estima una elasticidad precio de $-0,73$, muy superior en magnitud a la encontrada previamente para Chile. Finalmente, con datos agregados comunales que mezclan consumo residencial con el de pequeños industriales y comercio, Marshall (2010) estima una elasticidad precio de $-0,37$ en el corto plazo y $-0,44$ en el largo plazo.

Las diferencias en la magnitud de las elasticidades obtenidas en las distintas estimaciones pueden tener un impacto económico significativo en el mercado eléctrico, en especial respecto de potenciales políticas públicas que se pueden implementar en tiempos de escasez. Por ejemplo, Benavente et al. (2005a) analizan el impacto que tendría que los usuarios percibieran el costo de oportunidad de la electricidad durante una escasez (y no la tarifa residencial BT1). Sus resultados muestran que, tres meses después del aumento en el precio, la demanda se habría reducido en 9,5%, lo cual habría sido suficiente para manejar el déficit de energía en la crisis 1998-1999 que fue cercano a 10%. Si la elasticidad precio fuera menor que la que considera dicho análisis, la conclusión sería distinta; y si fuera mucho mayor, como la estimada por Acuña (2008), el manejo de la demanda permitiría enfrentar una crisis de bastante mayor magnitud que un 10% de déficit. Por esta razón es que es importante para Chile tener evidencia robusta respecto de la potencial respuesta de la demanda a cambios en el precio de la electricidad.

Adicionalmente, dado que los costos de generación crecen de modo exponencial al acercarse a la máxima capacidad instalada, una modificación de la demanda en los límites puede generar impactos de relevancia económica (Albadi y El-Saadany, 2008), lo cual confirma la importancia de tener el conocimiento más preciso posible acerca del comportamiento de los consumidores⁹.

III. MODELO A ESTIMAR Y DATOS

1. Un modelo de demanda de energía

La información disponible a nivel de microdatos para Chile, a partir de la Encuesta Casén, consiste en datos de corte transversal sobre el consumo mensual del hogar en KWh, el cual depende de la frecuencia e intensidad con la que los hogares utilizan mensualmente su *stock* de aparatos eléctricos para consumir los servicios finales que estos les proveen, ya sea iluminación, cocina, calefacción u otros.

⁹ Para el caso de California, por ejemplo, si el precio marginal se incrementa en 3 centavos por KWh, una diferencia en la magnitud real de la elasticidad de $-0,1$ ($-0,29$ en vez de $-0,39$) generaría una sobreestimación de los ingresos de las empresas en torno a 75 millones de dólares (Reiss y White, 2005).

Los datos excluyen entonces la posibilidad de considerar modelos de ajuste parcial para la demanda de electricidad residencial, que están entre los más utilizados para estimar la demanda de energía con datos de series de tiempo. Si bien en la literatura existen numerosas estimaciones de demanda de energía con datos de corte transversal, no existe un modelo estándar para hacerlo y en general las estimaciones son de forma reducida con distintas especificaciones econométricas (Houthakker, 1951; Wills, 1981; Dubin y McFadden, 1984; Halvorsen et al., 2003; Zarnikau, 2003; Fernández, 2006; Yoo et al., 2007; Boonekamp, 2007).

En este trabajo, proponemos estimar una demanda por electricidad residencial que provenga de un proceso de maximización de utilidad de los hogares. Para ello se asume que las preferencias de los consumidores pueden expresarse a través de una función de utilidad de elasticidad de sustitución constante (CES)

$$u_i(x_{i1}, x_{i2}, z) = (x_{i1}^\rho + x_{i2}^\rho + z_i^\rho)^{\frac{1}{\rho}}$$

donde x_{i1} es la cantidad de energía eléctrica consumida por el hogar i , x_{i2} representa la cantidad consumida de gas licuado, y z corresponde al consumo de todos los demás bienes. Si bien la utilidad de los hogares depende del consumo de servicios provistos por aparatos que requieren de energía para su funcionamiento, la demanda por estos servicios al interior del hogar se considera en la función de utilidad a través de la cantidad de energía consumida¹⁰.

Los hogares maximizan su utilidad dada su restricción presupuestaria $y_i' = p_1 \cdot x_{i1} + p_2 \cdot x_{i2} + z$ donde hemos normalizado el precio de los demás bienes a uno ($P_z = 1$). Definiendo $\alpha = 1/(\rho - 1)$ e $y_i = y_i' - z$, la función de demanda por electricidad del hogar i (x_{i1}) es:

$$x_{i1} = \frac{p_1^\alpha \cdot y_i}{p_1^{\alpha+1} + p_2^{\alpha+1}}$$

La elasticidad precio y la elasticidad cruzada estarían dadas por las siguientes expresiones:

$$\frac{\partial \ln x_{i1}}{\partial \ln p_1} = \alpha - \frac{(\alpha + 1) \cdot p_1^{\alpha+1}}{p_1^{\alpha+1} + p_2^{\alpha+1}} \quad ; \quad \frac{\partial \ln x_{i1}}{\partial \ln p_2} = -\frac{(\alpha + 1) \cdot p_2^{\alpha+1}}{p_1^{\alpha+1} + p_2^{\alpha+1}}$$

Un problema potencial de utilizar esta especificación es que la elasticidad ingreso es igual a uno, y no hay evidencia robusta en la literatura que permita asumir esta restricción como válida. Por esta razón, en la estimación econométrica se flexibiliza esta restricción teórica para permitir que los datos puedan validar o no las imposiciones del modelo CES¹¹. Para ello se incluye un parámetro (β) en el ingreso, que permite identificar el impacto que tienen distintos niveles de ingreso en la demanda de electricidad. Adicionalmente, se flexibilizan los

¹⁰ Esta forma de modelar el consumo de energía es equivalente a la propuesta por Filippini (1999) que incorpora en la función de utilidad un bien de energía compuesto (composite energy good), el cual consiste en el consumo de electricidad, gas natural y artefactos que consumen energía.

¹¹ Este supuesto surge naturalmente al tener en cuenta que la demanda por energía se deriva del uso de bienes durables indivisibles, así como del consumo directo divisible (que puede depender directamente del ingreso). La indivisibilidad del stock de bienes durables en cada hogar llevaría a demandas de energía que crecen a saltos respecto del ingreso. Por ello, empíricamente debería encontrarse una demanda de energía creciente pero cóncava respecto de cada nivel de ingreso.

coeficientes asociados a precios (multiplicando el exponente por γ y por δ), y se agregan k variables con características geográficas y sociodemográficas del hogar (d_k). De este modo, la función de demanda a estimar es:

$$x_{i1} = \frac{p_1^\alpha \cdot y_i^\beta}{p_1^{(\alpha+1)\gamma} + p_2^{(\alpha+1)\delta}} \cdot \exp(b_0 + \sum_k b_k d_k)$$

$$\Leftrightarrow$$

$$\ln x_{i1} = b_0 + \alpha \cdot \ln p_1 + \beta \cdot \ln y_i - \ln(p_1^{(\alpha+1)\gamma} + p_2^{(\alpha+1)\delta}) + \sum_k b_k d_k$$

Con lo cual las elasticidades precio, cruzada con energía sustituta e ingreso están dadas por:

$$\frac{\partial \ln x_{i1}}{\partial \ln p_1} = \alpha - \frac{\gamma \cdot (\alpha + 1) \cdot p_1^{(\alpha+1)\gamma}}{p_1^{(\alpha+1)\gamma} + p_2^{(\alpha+1)\delta}};$$

$$\frac{\partial \ln x_{i1}}{\partial \ln p_2} = - \frac{\delta \cdot (\alpha + 1) \cdot p_2^{(\alpha+1)\delta}}{p_1^{(\alpha+1)\gamma} + p_2^{(\alpha+1)\delta}}; \frac{\partial \ln x_{i1}}{\partial \ln y_i} = \beta$$

2. Datos

El análisis empírico se realiza utilizando datos de corte transversal por hogar para octubre y noviembre del año 2006 de la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (Casén)¹², los cuales se complementan con información de precios de la Comisión Nacional de Energía (CNE).

En la encuesta Casén del año 2006, por primera vez se incorporó un módulo de energía, con el objetivo de conocer el consumo de diferentes tipos de energía al interior de los hogares, por lo que se incorporaron preguntas sobre el consumo de gas licuado, gas de cañería y leña. Adicionalmente, en el módulo de vivienda se agregaron preguntas acerca de la disponibilidad y el consumo de energía eléctrica, recopilando datos del consumo en KWh y montos pagados por los hogares (cuadro 1).

En la encuesta Casén 2006 se encuestaron 73.720 hogares, habitados por 268.873 individuos, que representaron a 4.337.066 hogares y 16.152.353 personas. Del total de personas representadas por la encuesta, el 98,3% vive en un hogar que se abasteció de energía eléctrica de la red pública con medidor en el 2006 (95% de los hogares de la muestra). Solo en este conjunto de hogares se preguntó por la cantidad de electricidad consumida en el mes anterior. Así, la muestra de hogares llegó a casi 70.000, de los cuales el 50% (34.072) respondió la pregunta sobre los KWh consumidos en el hogar en el mes previo a la realización de la encuesta (cuadro 2). Esto último es relevante para la estimación, dado que la tasa de no respuesta es alta y puede no ser aleatorio qué hogares respondieron y cuáles no.

¹² El 46% de los hogares de la muestra respondió el consumo de energía de un mes (34.072 hogares), siendo el 52% de las respuestas para octubre y 40% para noviembre.

Cuadro 1

Información de la Encuesta

Información de energía disponible en la Casén 2006

Energía	Variable	Concepto
Electricidad	V7A	Disponibilidad de energía eléctrica en el hogar
	V7B_MES	Mes de la última boleta disponible
	V7B_KWH	Consumo de energía eléctrica del hogar en el mes en KWh, según última boleta disponible
	V7B_MON	Monto que paga por mes. Valor de consumo en la boleta, excluyendo cualquier cargo que no sea pago por el servicio del mes. Si no dispone de boleta se anota el valor estimado por el encuestado
	V7C	Utilización de electricidad más de 40 horas al mes al interior del hogar para uso comercial (no iluminación). <i>Dummy</i> : Sí - No
Gas licuado	V30	Utilización de gas licuado en el hogar en el último año. <i>Dummy</i> : Sí - No
	V30A	Consumo promedio mensual en kilos de gas licuado, según estimación del encuestado. Fotos con distintos cilindros (5, 11, 15 y 45 kilos) para poder consignar el consumo promedio mensual del hogar
Gas de cañería o de red	V31	Consumo de algún tipo de gas por cañería (gas natural, gas de ciudad, gas licuado por cañería, no tiene conexión)
	V32A	Mes de la última boleta disponible
	V32B_M3	Consumo de gas de cañería mensual en m ³ , según última boleta disponible
	V32B_LTR	Consumo de gas de cañería mensual en litros, según última boleta disponible
	V32C	Monto que paga por mes. Valor de consumo en la boleta, excluyendo cualquier cargo que no sea pago por el servicio del mes. Si no dispone de boleta se anota el valor estimado por el encuestado
Leña	V29	Utilización de leña en el hogar en el último año, cualquiera sea la procedencia de la misma. <i>Dummy</i> : Sí - No
	V29A	Kilos de leña consumidos durante el año en el hogar. Estimación del encuestado. Se presenta planilla con fotos y se convierten las unidades más frecuentes (m ³ , canasto, carretilla, triciclo, etc.) a kilos

Fuente: Elaborado sobre la base del *Manual de Trabajo de Campo*, Casén 2006.

Cuadro 2

Disponibilidad de energía eléctrica

(número y porcentaje de hogares)

v7a: La vivienda donde Ud. vive, ¿dispone de energía eléctrica?	N° de hogares	Porcentaje	Información sobre KWh	
			N° de hogares	Porcentaje
Sí, de la red pública con medidor propio	64.720	87,79	32.612	50,0
Sí, de la red pública con medidor compartido	5.213	7,07	1.460	28,0
<i>Subtotal</i>	<i>69.933</i>	<i>94,86</i>	<i>34.072</i>	<i>48,7</i>
Sí, de la red pública sin medidor	996	1,35		
Sí, de un generador propio o comunitario	893	1,21		
Sí, a través de placa solar	237	0,32		
Sí, de otra fuente	148	0,20		
No dispone de energía eléctrica	1.500	2,03		
Sin dato	13	0,02		
Total	73.720	100,00		

Fuente: Casén 2006.

Cuadro 3

Fuentes energéticas utilizadas en los hogares

(número de hogares)

	Electricidad	Gas licuado			Gas de cañería			Leña		
		Sí	No	N/D	Sí	No	N/D	Sí	No	N/D
Sí, de la red pública con medidor propio	64.720	56.838	7.872	10	3.098	61.602	20	38.826	25.881	13
Sí, de la red pública con medidor compartido	5.213	4.424	789		63	5.149	1	3.297	1.915	1
<i>Suma</i>	<i>69.933</i>	<i>61.262</i>	<i>8.661</i>	<i>10</i>	<i>3.161</i>	<i>66.751</i>	<i>21</i>	<i>42.123</i>	<i>27.796</i>	<i>14</i>
<i>% respecto de electricidad</i>		<i>87,6%</i>	<i>12,4%</i>	<i>0,0%</i>	<i>4,5%</i>	<i>95,4%</i>	<i>0,0%</i>	<i>60,2%</i>	<i>39,7%</i>	<i>0,0%</i>
Sí, de la red pública sin medidor	996	729	266	1	36	958	2	738	257	1
Sí, de un generador propio o comunitario	893	665	227	1	42	850	1	722	171	
Sí, a través de placa solar	237	161	76		2	235		221	16	
Sí, de otra fuente	148	95	53		16	132		107	41	
No dispone de energía eléctrica	1.500	661	839		3	1.497		1.374	126	
Sin dato	13	8	3	2		13		9	2	2
<i>Suma</i>	<i>3.787</i>	<i>2.319</i>	<i>1.464</i>	<i>4</i>	<i>99</i>	<i>3.685</i>	<i>3</i>	<i>3.171</i>	<i>613</i>	<i>3</i>
<i>Porcentaje respecto de electricidad</i>		<i>61,2%</i>	<i>38,7%</i>	<i>0,1%</i>	<i>2,6%</i>	<i>97,3%</i>	<i>0,1%</i>	<i>83,7%</i>	<i>16,2%</i>	<i>0,1%</i>
Total	73.720	63.581	10.125	14	3.260	70.436	24	45.294	28.409	17
		86,2%	13,7%	0,0%	4,4%	95,5%	0,0%	61,4%	38,5%	0,0%

Fuente: Casén 2006.

N/D: No disponible.

Cuadro 4

Hogares con información de consumo de electricidad

(fuentes energéticas utilizadas)

	Gas licuado		Leña		Gas de cañería	
Sí	30.280	88,9%	21.923	64,3%	1.433	4,2%
No	3.790	11,1%	12.145	35,6%	32.632	95,8%
N/D	2	0,0%	4	0,0%	7	0,0%
Total	34.072	100,0%	34.072	100,0%	34.072	100,0%

Fuente: Casén 2006.

*Conectada a la red con medidor.

N/D: No disponible.

El cuadro 3 muestra la utilización de otras fuentes de energía en los hogares encuestados. Tal como se aprecia en el cuadro, 86,2% de los hogares de la muestra utilizó gas licuado en cilindros, 61,4% leña y 4,4% gas por cañería. La composición cambia significativamente entre los hogares que tienen electricidad a través de la red pública y los que no. Entre los que acceden, 87,6% utiliza gas licuado, 4,5% gas de cañería y 60,2% leña. Entre los que no acceden a la red pública, 61% usa gas licuado, 3% gas de cañería y 83,7% leña.

Como una primera mirada al problema potencial de sesgo de selección en la muestra, es importante comparar la utilización de distintas fuentes energéticas entre los hogares que respondieron la pregunta sobre la cantidad de KWh consumidos y los que no. Tal como se observa en el cuadro 4, que muestra la composición para los hogares que

Cuadro 5

Estadísticos básicos del consumo de energía residencial

(solo hogares utilizados en las estimaciones, N = 32.355)

Variable	N	Media	Std. Dev.	Min.	Máx.
Electricidad (KWh/mes)	32.355	129,27	90,88	6	699
Gas licuado (kg/mes)	28.722	15,63	13,21	1	200
Gas de cañería (m³/mes)	982	125,25	170,14	1	977
Leña (kg/año)	20.797	5.632,59	7.626,82	3	94.000
\$ /mes					
Electricidad	32.355	13.703	9.786	921	213.874
Gas de cañería	1.299	20.626	15.587	651	141.530
Gas natural	877	20.374	14.610	651	135.862

Fuente: Elaborado por los autores basados en Casén 2006.

respondieron la pregunta, la proporción de hogares por fuente energética es bastante similar a la de la población total, lo cual se confirma estadísticamente en tests de hipótesis que comparan las proporciones entre los hogares que respondieron la pregunta en la encuesta y los que no¹³.

Del total de esta muestra (34.072 hogares), se utilizan en el análisis empírico solo los hogares que no comparten vivienda (97% del total), ya que no es posible identificar por separado el consumo de cada hogar dentro de la vivienda¹⁴. Adicionalmente, hay observaciones en ambos extremos de la distribución que tienen valores de consumo que no son plausibles dado el rango de consumo residencial que reportan las distribuidoras de electricidad, lo que probablemente se debe a errores en los datos. Para no eliminar arbitrariamente algunos valores específicos se optó por eliminar el 0,5% de cada cola de la distribución (1% de la muestra), lo cual sumado a la falta de información para algunas de las variables llevó a una muestra final de 32.355 hogares.

En la muestra final de hogares, el consumo promedio de electricidad en el mes fue de 129 KWh, con un gasto promedio cercano a 14.000 pesos chilenos. En el caso del gas, los hogares consumieron en promedio 15,6 kilos por mes de gas licuado en cilindro, mientras que el consumo promedio de gas de cañería (disponible para 982 hogares) fue de 125 m³ por mes, con un gasto en torno a los 20.000 pesos mensuales (cuadro 5).

Uno de los elementos más importantes en la estimación de una demanda por energía eléctrica es la información de precios. En el caso de los datos de la Casén es posible calcular el precio implícito por hogar para la energía eléctrica, el cual se construye a partir de la información

¹³ Incluyendo variables de ingreso, geográficas y otras características del hogar (y del jefe de hogar) se estimó la probabilidad de responder el dato de consumo de KWh para testear en un modelo econométrico tipo Heckman el potencial sesgo de selección al estimar la demanda. Los resultados no rechazan la hipótesis nula de no existencia de sesgo de selección.

¹⁴ En estos hogares, el consumo promedio de electricidad en el mes fue de 129 KWh, con un gasto promedio cercano a los 14.000 pesos chilenos. En el caso del gas, los hogares consumieron en promedio 15,6 kilos por mes de gas licuado en cilindro, mientras que el consumo promedio de gas de cañería (disponible para 982 hogares) fue de 125 m³ por mes, con un gasto en torno a los 20.000 pesos por mes.

Cuadro 6**Precio de la electricidad**

	Media	Desv. est.	Min.	Máx.
Precio implícito (\$/KWh)	113,60	115,36	0,20	4.761,17
Precio explícito				
Tarifa variable (\$/KWh)	91,04	15,71	68,58	131,93
Cargo fijo (\$/KW)	955,43	205,73	542,32	1.362,22

Fuente: Elaborado por los autores basados en Casén 2006 y en información de la CNE.

sobre el monto total pagado y la cantidad consumida. Dado que los hogares se enfrentan a una tarifa en dos partes, para identificar correctamente el precio es necesario restar el cargo fijo del gasto total en electricidad. De este forma, se calcula un precio para cada hogar como $p_i = (g_i - f_c) / q_i$, donde g_i es el gasto en electricidad reportado para el mes, f_c el cargo fijo por comuna obtenido con datos de la CNE y q_i el consumo en KWh por hogar reportado en la Encuesta Casén (cuadro 6)¹⁵. Los cargos fijos por comuna, provenientes de información pública de la CNE para octubre del 2006, identifican 48 cargos fijos distintos y 61 tarifas variables (\$/KWh) correspondientes a los servicios de abastecimiento de electricidad de 29 empresas distribuidoras. Además del precio implícito, para realizar ejercicios de robustez de las estimaciones se utiliza como precio explícito el cargo variable cobrado por las distribuidoras en cada comuna¹⁶. Las estadísticas descriptivas para ambos precios se presentan en el cuadro 6.

Finalmente, el precio del gas licuado —el principal sustituto energético utilizado en los hogares— se obtiene de fuentes externas, ya que la encuesta Casén no entrega información del gasto en gas licuado. Una de las dificultades respecto al precio del gas licuado es que es decreciente con la cantidad consumida (debido a la oferta de tamaños discretos y fijos de cilindros de gas), por lo que es necesario realizar algunos supuestos básicos acerca de la racionalidad en el comportamiento de los hogares. Por un lado, los hogares pueden tener restricciones presupuestarias y comprar la menor cantidad posible, debiendo en ese caso asignarse el precio más alto sin importar el tramo de consumo. Por otro lado, los hogares podrían buscar optimizar el consumo y comprar la cantidad necesaria para cubrir su demanda, debiendo imputarse entonces el precio de acuerdo con los rangos de consumo total en el mes. Asumiendo un comportamiento optimizador por parte de los hogares, sin fuertes restricciones de liquidez, se calculan los precios de gas licuado para cada hogar de la muestra a base de los precios vigentes en octubre y noviembre del 2006 para distintos tamaños del cilindro de gas, en cada región (cuadro 7)¹⁷.

¹⁵ En 30 hogares de la muestra original, el gasto reportado por electricidad es menor al mínimo cargo fijo cobrado en la comuna donde se localiza el hogar. No es posible identificar si ello se debe a que esos hogares son beneficiarios del subsidio a la energía eléctrica o es simplemente un error en los datos. Al quitar el 1% de la distribución dichas observaciones se eliminan.

¹⁶ Se considera la tarifa BT1, de alimentación aérea, ya que la mayor parte del consumo residencial se abastece de esa forma. Asimismo, en las comunas donde más de una empresa cubre el servicio de distribución se opta por utilizar el precio mínimo, ya que la mayoría de los hogares de la muestra son urbanos y los precios más altos corresponden a zonas rurales.

¹⁷ En aquellos hogares que no consumen gas licuado ($N = 3,615$), se imputa el precio considerando el consumo equivalente de energía eléctrica en gas licuado, de acuerdo con el criterio de conversión a calorías del Balance Energético Nacional 2006. De este modo, si bien se está suponiendo sustitución perfecta entre gas licuado y electricidad, lo que se busca es estimar el rango de consumo energético de dicho hogar en términos de gas licuado para asociar un nivel de precios acorde. En la estimación se realizan posteriormente tests de robustez imputando el precio del cilindro de 15 kg. por región.

Cuadro 7
Precio del gas licuado en cilindros

(pesos por kilo)

Región	Cilindros			
	5 kg	11 kg	15 kg	45 kg
I	970,0	814,8*	806,9	758,3
II	980,0	823,2*	805,7	757,0
III	906,8	777,9	772,3	748,1
IV	889,2	736,6	742,2	720,9
V	884,0	764,4	728,0	709,6
VI	852,2	741,5	690,6	707,1
VII	867,6	713,3	708,2	695,0
VIII	879,6	756,4	713,3	696,9
IX	888,0	757,3	726,3	706,0
X	862,6	749,4	715,1	705,7
XI	1.017,6	750,0	818,0	777,1
XII	933,4	787,9	700,0	703,7
RM	894,4	721,0	702,0	687,2

Fuente: CNE a base de datos de encuestas Sernac y Casén. Datos a octubre 2006.

* En las regiones I y II no estaba disponible la información del cilindro de 11 kg. Se imputa un precio considerando la proporción de precios observada en las demás regiones.

Cuadro 8
Estadísticas descriptivas de las variables utilizadas

Variables	Media	Desv. est.	Mín.	Máx.
Q consumido (KWh)	129,27	90,88	6	699
Ingreso promedio del hogar	459.083	660.663	486	36.455.920
Número de personas en el hogar	3,70	1,71	1	16
Número de dormitorios y baños	3,58	1,30	1	16
Lavadora	0,55	0,50	0	1
Refrigerador	0,86	0,35	0	1
Calefón	0,47	0,50	0	1
Computador	0,21	0,41	0	1
Urbano	0,67	0,47	0	1
Comercio	0,06	0,24	0	1
Matbien	0,61	0,49	0	1
Leña	0,65	0,48	0	1
Gasca	0,04	0,20	0	1

Fuente: Estimación propia.

Adicionalmente, se obtienen de la encuesta Casén variables que permiten caracterizar el hogar en términos de ingreso, número de personas, tamaño de la vivienda (ante la inexistencia del dato de superficie, se utiliza como variable *proxy* el número de dormitorios y baños), la presencia o no de equipos y artefactos que consumen energía (lavadora, refrigerador, calefón, computador), el uso de otras fuentes de energía (leña, gas de cañería), si hay uso comercial de electricidad en el hogar (*dummy* Comercio), si el hogar se encuentra en una zona urbana o rural, y si los materiales de construcción del hogar corresponden a los más aislantes o no (*dummy* Matbien). Las estadísticas descriptivas de las variables utilizadas se encuentran en el cuadro 8¹⁸. Es relevante destacar, que apenas 6% de los hogares en la encuesta reporta un uso comercial de electricidad, por lo que la demanda estimada corresponde fundamentalmente a consumo residencial.

En el análisis econométrico se incorporaron variables adicionales que caracterizan al jefe de hogar (género, educación, empleo) y la heterogeneidad de personas en el hogar (niños, adultos mayores), pero ninguna resultó significativa y los resultados no cambiaron al omitirlas del análisis. De igual forma, se consideraron variables climáticas bastante agregadas (temperatura,

¹⁸ Al comparar las medias de la distribución entre la muestra que se utiliza en el análisis empírico y la muestra completa en la Casén, hay diferencias en algunas variables socioeconómicas. Por ejemplo, el ingreso promedio en la muestra total es de \$491,788, algo superior al ingreso en la muestra final utilizada; y la fracción de hogares urbanos es de 61%, algo inferior a la fracción en la muestra utilizada. Esto hace aun más relevante controlar por variables socioeconómicas observables en las regresiones estimadas.

Cuadro 9

Resultados de la estimación

Variable independiente	Variable dependiente: lnQ			
	Dummy gas de cañería		Sesgo de selección	
<i>lnpelectricidad</i>	-1,410 (0,102)	*	-1,391 (0,100)	*
<i>lny</i>	0,109 (0,005)	*	0,116 (0,005)	*
<i>gama</i>	2,863 (0,518)	*	2,957 (0,557)	*
<i>delta</i>	2,707 (0,431)	*	2,781 (0,462)	*
<i>comercio</i>	0,330 (0,014)	*	0,326 (0,014)	*
<i>leña</i>	0,036 (0,009)	*	0,026 (0,009)	*
<i>numper</i>	0,075 (0,002)	*	0,073 (0,002)	*
<i>dormban</i>	0,061 (0,003)	*	0,063 (0,003)	*
<i>matbien</i>	-0,029 (0,007)	*	-0,027 (0,007)	*
<i>lavadora</i>	0,110 (0,007)	*	0,109 (0,007)	*
<i>refrigerador</i>	0,288 (0,012)	*	0,285 (0,012)	*
<i>calefón</i>	0,059 (0,008)	*	0,063 (0,008)	*
<i>computador</i>	0,167 (0,008)	*	0,181 (0,008)	*
<i>urbano</i>	0,033 (0,008)	*	0,034 (0,008)	*
<i>gascan</i>	0,049 (0,016)	*	-	
<i>lambda</i>	-		0,423 (0,069)	*
<i>bo</i>	3,733 (0,116)	*	3,321 (0,136)	*
Dummies regionales	Sí		Sí	
N	32.355		32.355	
R ²	0,383		0,384	

Fuente: Estimación propia.
Errores estándares asíntóticos entre paréntesis.
* Significativos al 1%.

lluvia) ya que no hay información desagregada a nivel comunal o regional, pero tampoco fueron significativas. Probablemente los efectos climáticos son capturados por las variables *dummy* regionales, ya que en general la variación climática en Chile está fuertemente correlacionada con la latitud, y la distribución geográfica de las regiones también.

IV. ESTIMACIÓN Y RESULTADOS

La evidencia encontrada en la literatura muestra sistemáticamente que la demanda de energía, además del precio y el ingreso, se encuentra determinada por características del hogar (número de personas, equipamiento eléctrico, tipo de vivienda, número de habitaciones, etc.), características de los individuos (edad, presencia de niños menores o adultos mayores, ocupación fuera del hogar, etc.) y condiciones climáticas. Considerando esta evidencia, el modelo de demanda planteado previamente y la información disponible, se utiliza la siguiente especificación econométrica:

$$\ln x_{i,electr} = b_0 + \alpha \cdot \ln p_{i,elect} + \beta \cdot y_i - \ln \left(p_{i,elect}^{(\alpha+1) \cdot \gamma} + p_{i,GLP}^{(\alpha+1) \cdot \delta} \right) + \sum_{k=1}^{12} \sigma_k \cdot r_{i,k} + \sum_{k=13}^{22} \sigma_k \cdot z_{i,k} + \mu_i \quad (1)$$

donde las variables P_{elect} y P_{GLP} corresponden a los precios de energía eléctrica y gas licuado que enfrenta el hogar i , respectivamente; $z_{i,k}$ son características del hogar (descritas previamente en el cuadro 8) y $r_{i,k}$ son *dummies* regionales.

El cuadro 9 presenta los resultados de estimar la ecuación (1) con mínimos cuadrados no lineales, corrigiendo por heterocedasticidad. Uno de los sesgos posibles de selección muestral tiene relación con el uso de gas de cañería, ya que no es aleatorio qué hogares tienen acceso a gas de cañería y cuáles no. Por esta razón, se estimó el modelo de dos formas. Primero, incluyendo una *dummy* para gas de cañería. Segundo, considerando sesgo de selección en la elección de tener gas de cañería y estimando los errores estándar con *bootstrap* (1000 repeticiones). Ambos resultados se presentan en el cuadro.¹⁹ Si bien el coeficiente asociado a la razón inversa de Mills es estadísticamente significativo (*lambda*), lo cual reflejaría algún grado de sesgo de selección, el impacto del sesgo en los coeficientes estimados no es importante en magnitud.

¹⁹ También se consideró el potencial sesgo de selección en la muestra de hogares que respondieron las preguntas de energía en la encuesta. Los resultados en varias especificaciones distintas no rechazaron nunca la hipótesis nula de no existencia de sesgo de selección.

Cuadro 10
Elasticidades precio e ingreso para los hogares

Elasticidades	Dummy gas de cañería		Sesgo de selección	
	Evaluada en la media	Evaluada en la mediana	Evaluada en la media	Evaluada en la mediana
Precio	-0,403 (-0,43; -0,38)	-0,381 (-0,40; -0,36)	-0,407 (-0,43; -0,38)	-0,384 (-0,41; -0,36)
Ingreso	0,109 (0,10; 0,12)	-	0,116 (0,11; 0,13)	-
Precio del gas licuado	0,157 (0,11; 0,21)	0,136 (0,09; 0,18)	0,162 (0,11; 0,21)	0,141 (0,09; 0,19)

Fuente: Estimación propia.
Entre paréntesis, intervalo de confianza al 95%.

En general, los resultados son bastante satisfactorios en el sentido de que la regresión logra explicar una parte importante de la variación en los datos, y todas las variables son significativas y tienen los signos esperados. La presencia de artefactos y equipos aumenta el consumo de electricidad en el hogar, al igual que un mayor número de personas y una mayor cantidad de piezas y baños. Por otro lado, hogares en viviendas con mejor aislamiento consumen menos energía eléctrica. El efecto, tal como se esperaría, es menor en magnitud que el impacto de las otras variables ya que se limita principalmente al consumo de energía asociado a calefacción.

En términos de magnitud de los efectos, un aumento en una persona en el número de habitantes promedio en el hogar aumenta en 7,6% la demanda de electricidad; tener refrigerador aumenta el consumo promedio de electricidad en 32,9%; tener computador, en 19,8%; tener lavadora, en 11,5%, y tener calefón, en 6,5%, todo lo demás constante. Viviendas con un dormitorio o baño adicional tienen en promedio un consumo 6,5% mayor, y tener aislamiento térmico lo reduce en -2,7%. Por último, un hogar que tiene consumo comercial aumenta su demanda en 38% respecto de los hogares que solo tienen consumo residencial.

A partir de los parámetros estimados se calculan las elasticidades precio e ingreso, evaluadas en la media y en la mediana de las respectivas variables (precio de la energía eléctrica, precio del gas licuado, e ingreso). Los intervalos de confianza de cada elasticidad se obtienen utilizando el método delta. Las elasticidades estimadas se muestran en el cuadro 10.²⁰

La elasticidad precio de la demanda de electricidad residencial en Chile se estima consistentemente en un rango entre -0,36 y -0,43. Los estimadores punto de la elasticidad están obviamente en un rango más acotado, entre -0,38 y -0,4.²¹ Este resultado es similar a otros resultados empíricos en la literatura: en particular, la magnitud es muy cercana a la obtenida por Benavente

²⁰ Adicionalmente, se estimaron a través de interacciones en el parámetro delta las elasticidades precio para los hogares en zonas urbanas (-0,416) y rurales (-0,394), pero estadísticamente no se rechaza que sean iguales. De igual forma, se estimaron elasticidades precio para la Zona del Norte Grande del país (-0,413) y el Extremo Sur (-0,40), pero tampoco se rechaza que sean iguales.

²¹ Considerando el precio implícito de la electricidad obtenido de la Casén el precio promedio es 131,6 \$/KWh, mientras que el precio en la mediana es 94,73 \$/KWh. Este último es cercano al precio explícito promedio obtenido de datos de la CNE (91,04 \$/KWh).

et al. (2005b) y Marshall (2010) para Chile (de $-0,39$), Reiss y White (2005) para California (de $-0,39$) y Halvorsen y Larsen (2001) para Noruega (de $-0,44$). Sin embargo, para Chile el resultado de Acuña (2008) muestra una elasticidad precio muy superior, también a partir de encuestas de hogares, por lo que sería relevante poder explicar el origen de la diferencia. Una explicación plausible es que en dicho trabajo se haya calculado el precio medio del KWh sin deducir el cargo fijo que pagaron los hogares (o deduciendo un mismo cargo fijo promedio para todos los hogares del país), lo cual llevaría a sobrestimar la elasticidad precio.

La elasticidad ingreso estimada es de $0,11$ con intervalos de confianza en un rango entre $0,10$ y $0,13$. Una demanda bastante inelástica al ingreso como la estimada es coincidente con los principales resultados encontrados en la literatura económica. Reiss y White (2005) estiman una demanda completamente inelástica al ingreso para California, Parti y Parti (1980) estiman una elasticidad ingreso de $0,15$ para San Diego, Halvorsen y Larsen (2001) una entre $0,06$ y $0,13$ para Noruega y García-Cerruti (2000) una de $0,15$ para California. En el caso de Chile, estimaciones previas muestran una elasticidad ingreso mayor, en torno a $0,2$ por Benavente et al. (2005b) y Acuña (2008) y entre $0,5$ y $0,8$ por Marshall (2010). Hay que tomar en cuenta, sin embargo, que en varios de estos trabajos para Chile no se controla por la existencia de bienes durables en el hogar, lo que potencialmente sesgaría hacia arriba la elasticidad ingreso estimada.

En el caso de la elasticidad precio cruzada entre energía eléctrica y gas licuado, la estimación refleja un cierto grado de sustitución entre ambas fuentes de energía. En promedio, un aumento de 1% en el precio del gas licuado está asociado a un aumento en la demanda por energía eléctrica de $0,16\%$, todo lo demás constante. El intervalo de confianza de la elasticidad precio cruzada es un poco mayor que en el caso de las otras elasticidades estimadas, con un rango entre $0,09$ y $0,21$. Nuevamente este resultado es similar al encontrado por Benavente et al. (2005b) para Chile y cercano al resultado promedio en la literatura de $0,18$ para la elasticidad respecto al gas natural (Dahl, 1993). Sin embargo, en el único otro resultado específico para gas licuado en la literatura económica, Dubin y McFadden (1984) estiman un grado de sustitución mayor, con una elasticidad cruzada de $0,39$ para hogares en Estados Unidos.

Finalmente, es importante señalar que la interpretación de los resultados obtenidos en la estimación de la demanda por electricidad residencial en Chile corresponde a elasticidades de largo plazo, cuando los hogares se encuentran en una situación de equilibrio respecto de los bienes durables que consumen electricidad. La razón es fundamentalmente de identificación econométrica, ya que se utilizan datos de corte transversal donde la identificación proviene de diferencias en el consumo de electricidad entre distintos hogares en una situación de equilibrio. Por el contrario, la identificación de la elasticidad de demanda de corto plazo requeriría tener variación en los datos para los mismos hogares a través del tiempo, idealmente para varios meses seguidos.

V. CONCLUSIONES

El tema energético tiene cada vez más relevancia en las distintas economías del mundo. En particular, existe preocupación por el fuerte crecimiento de la demanda respecto de la oferta de energía. Chile no escapa a esta tendencia y, frente a los déficits de energía, cobran cada vez más relevancia, políticas, tanto de eficiencia energética como de manejo de la demanda. La implementación y el diseño de este tipo de políticas requieren, sin embargo, un mayor

conocimiento del comportamiento de los agentes económicos en su consumo de energía. En particular, se requiere evidencia robusta respecto de la magnitud de las elasticidades precio e ingreso de la demanda de energía eléctrica.

En este contexto, se estima una elasticidad precio del consumo residencial de energía eléctrica utilizando información desagregada por hogar en Chile, para el año 2006. Los resultados obtenidos permiten concluir en forma robusta que los consumidores sí modifican su consumo de electricidad en respuesta a cambios en los precios que enfrentan. La magnitud de este efecto se estima consistentemente entre $-0,38$ y $-0,4$, similar al estimado para Chile por Benavente et al. (2005a) y para California por Reiss y White (2005). Si bien la demanda es relativamente inelástica al precio, no es completamente inelástica y, a través de cambios en el precio, es posible generar cambios importantes en el consumo que reduzcan los riesgos de cortes de energía en situaciones de déficit.

Adicionalmente, los resultados muestran que existe algún grado de sustitución entre las distintas alternativas energéticas al interior de los hogares. La elasticidad precio del consumo de electricidad respecto al precio del gas licuado se estima entre $0,14$ y $0,16$. La precisión de la estimación, con un intervalo de confianza entre $0,09$ y $0,21$, es menor que para la elasticidad respecto al precio de la electricidad. Sin embargo, es informativo para el diseño correcto de potenciales políticas de manejo de demanda, saber que el patrón de sustitución en el consumo de electricidad, ante un cambio en el precio, se produce no solo por cambios en el consumo de electricidad, sino también, por sustitución hacia otras fuentes de energía.

Por último, conocer con precisión la magnitud de las elasticidades precio de la demanda de electricidad permite también hacer una estimación correcta de los efectos, en eficiencia y en recaudación, que tendría la implementación de impuestos que incorporaran las potenciales externalidades negativas del consumo de energía en el cambio climático (Azevedo et al., 2011).

En investigaciones futuras, sería relevante para Chile extender el análisis empírico de este trabajo para identificar el cambio estacional en la demanda residencial, ya que en algunos períodos (en distintos meses del año), el comportamiento puede ser más inelástico que el estimado. Dicho análisis requiere contar con datos de panel a nivel de hogares, para distintos períodos durante cada año, que por el momento no se encuentran disponibles para Chile.

REFERENCIAS

Acuña, H. (2008). "¿Cambia el Consumo Eléctrico de los Hogares cuando Cambia el Precio? Sugerencias para el Diseño de un Subsidio". Documento N°2, Departamento de Estudios División Social, Ministerio de Planificación, Chile.

Albadi M.H. y E.F. El-Saadany (2008). "A Summary of Demand Response in Electricity Markets". *Electric Power Systems Research* 78(11): 1989–96.

Anderson, K. (1973). "Residential Energy Use: An Econometric Analysis". Rand Corporation (R-1297-NSF).

Azevedo, I.M., M.G. Morgan y L. Lave (2011). "Residential and Regional Electricity Consumption in the U.S. and E.U.: How Much Will Higher Prices Reduce CO2 Emissions?" *Electricity Journal* 24(1):21–29.

Bartels, R. y D. Fiebig (2000). "Residential End-Use Electricity Demand Results from a Designed Experiment". *The Energy Journal* 21(2):51–81.

Benavente, J., A. Galetovic, R. Sanhueza y P. Serra (2005a). "El Costo de la Falla Residencial en Chile: Una Estimación Usando la Curva de Demanda". *Revista de Análisis Económico* 20(2): 23–40.

Benavente, J., A. Galetovic, R. Sanhueza y P. Serra (2005b). "Estimando la Demanda Residencial por Electricidad en Chile: El Consumo es Sensible al Precio". *Cuadernos de Economía* 42: 31–61.

Berndt, E. y R. Samaniego (1984). "Residential Electricity Demand in Mexico: A Model Distinguishing Access from Consumption". *Land Economics* 60(3): 268–77.

Chumacero, R., R. Paredes y M. Sánchez (2000). "Regulación para Crisis de Abastecimiento: Lecciones del Racionamiento Eléctrico en Chile". *Cuadernos de Economía* 37: 323–38.

Bohi, D. y M. Zimmerman (1984), "An Update on Econometric Studies of Energy Demand". *Annual Review of Energy* 9: 105-154.

Boonekamp, P.G.M. (2007). "Price Elasticities, Policy Measures, and Actual Developments in Household Energy Consumption: A Bottom Up Analysis for the Netherlands". *Energy Economics* 29(2): 133–57.

Bose, R.K. y M. Shukla (1999). "Elasticities of Electricity Demand in India". *Energy Policy* 27: 137–46.

Comisión Nacional de Energía (1986). "Demanda de Electricidad en Chile". Mimeo.

Comisión Nacional de Energía (2006). "La Regulación del Segmento Distribución en Chile". Documento de Trabajo.

Dahl, C. (1993). "A Survey of Energy Demand Elasticities in Support of the Development of the NEMS". Departamento de Energía, Estados Unidos.

Deaton, A. y J. Muellbauer (1980). "An Almost Ideal Demand System". *American Economic Review* 70(3): 312–26.

De Vita, G., K. Endresen y L.C. Hunt (2006). "An Empirical Analysis of Energy Demand in Namibia". *Energy Policy* 34: 3447–63.

Díaz, C., A. Galetovic y R. Soto (2001) "Anatomía de una Crisis Eléctrica". *Revista de Análisis Económico* 16(1). 3–57.

Díaz, C., A. Galetovic y R. Soto (2000) "La Crisis Eléctrica de 1998–1999: Causas, Consecuencias y Lecciones". *Estudios Públicos* 80: 149–92.

Dubin, A. y D. McFadden (1984). "An Econometric Analysis of Residential Electric Appliance Holdings and Consumption". *Econometrica* 52(2): 345–62.

Fernández, L. (2006). "Análisis Microeconómico de la Demanda Eléctrica Residencial de Corto Plazo en España". Universitat de Barcelona, Documento de Trabajo N°2006–014, Asociación Española para la Economía Energética.

Filippini, M. (1999). "Swiss Residential Demand for Electricity". *Applied Economics Letters* 6(8): 533–8.

Filippini, M. y S. Pachauri (2004). "Elasticities of Electricity Demand in Urban Indian Households". *Energy Policy* 32: 429–36.

Fisher, F.M. y C. Kaysen (1962). *A Study in Econometrics: The Demand for Electricity in the United States*. Amsterdam, Países Bajos: North Holland.

Galetovic, A., J.R. Inostroza y C. Muñoz (2004). "Gas y Electricidad: ¿Qué Hacer Ahora?". *Estudios Públicos* 96: 49–106.

Galindo, L.M. (2005). "Short and Long–Run Demand for Energy in Mexico: A Cointegration Approach". *Energy Policy* 33(9): 1179–85.

García-Cerrutti, L. (2000). "Estimating Elasticities of Residential Energy Demand from Panel Country Data Using Dynamic Random Models with Heteroskedastic and Correlated Errors Terms". *Resource and Energy Economics* 22(4): 355–66.

Halvorsen, B. y B. Larsen (2001). "The Flexibility of Household Electricity Demand Over Time". *Resource and Energy Economics* 23: 1–18.

Halvorsen, B., B. Larsen y R. Nesbakken (2003). "Possibility for Hedging from Price Increases in Residential Energy Demand". Discussion Paper N° 347, Statistics Norway, Research Department.

Houthakker, H. (1951). "Some Calculations of Electricity Consumption in Great Britain". *Journal of the Royal Statistical Society (A)* 114(III): 351–71.

Marshall, D. (2010). "El Consumo Eléctrico Residencial en Chile en 2008". *Cuadernos de Economía* 47: 57–89.

Mideplán, División Social, Casén en www.mideplan.cl/Casén

Nasr, G.E., E.A. Badr y G. Dibeh (2000). "Econometric Modeling of Electricity Consumption in Post-war Lebanon". *Energy Economics* 22: 627–40.

Parti, M. y C. Parti (1980). "The Total and Appliance-Specific Conditional Demand for Electricity in the Household Sector". *Bell Journal of Economics* 11(1): 309–21.

Reiss, P. y M. White (2005). "Household Electricity Demand, Revisited". *Review of Economic Studies* 72: 853–83.

Serra, P. (2002). "Regulación del Sector Eléctrico Chileno". *Perspectivas* 6(1): 11–43.

Sweeney, J. (1984). "The Response of Energy Demand to Higher Prices: What Have We Learned?". *American Economic Review* 74(2): 31–37.

Taylor, L. (1975). "The Demand for Electricity: A Survey". *Bell Journal of Economics and Management Science* 6(1): 74–110.

Taylor, L. (1977). "The Demand for Energy: A Survey of Price and Income Elasticities". En *International Studies of the Demand for Energy*, editado por W.D. Nordhaus. Amsterdam, Países Bajos: North Holland.

Wills, J. (1981). "Residential Demand for Electricity". *Energy Economics* 3(4): 249–55.

Yoo, S-H., J.L. Lee y S.J. Kwak (2007). "Estimation of Residential Electricity Demand Function in Seoul by Correction for Sample Selection Bias". *Energy Policy* 35(11): 5702–7.

Zachariadis, T. y N. Pashourtidou (2007). "An Empirical Analysis of Electricity Consumption in Cyprus". *Energy Economics* 29(2): 183–98.

Zarnikau, J. (2003). "Functional Forms in Energy Demand Modeling". *Energy Economics* 25(6): 603–13.

Zellner, A. (1962). "An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regression and Tests for Aggregation Bias". *Journal of the American Statistical Association* 57: 348–68.