

La Demanda Residencial por Energía Eléctrica en Chile*

Claudio A. Agostini[†] M. Cecilia Plottier[‡] Eduardo H. Saavedra[§]

Diciembre 15, 2009

Abstract

En un contexto de demanda creciente y oferta estocástica de energía en Chile se hace necesario conocer a cabalidad los determinantes de la demanda por energía eléctrica de los hogares - en particular su elasticidad precio - para así utilizar mecanismos de flexibilización de precios con miras a reducir posibles déficits de energía. Este trabajo estima la demanda de energía eléctrica residencial usando información de la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN) 2006, siendo innovadora respecto de estudios previos al usar datos desagregados por hogar. Los resultados obtenidos son bastante consistentes con estudios previos, mostrando una elasticidad precio de entre -0.38 y -0.40 para el consumo residencial, una elasticidad cruzada entre 0.14 y 0.16 con respecto al precio del gas licuado y una elasticidad ingreso de entre 0.11 y 0.12, dependiendo de si se evaluó en la mediana o la media de las variables independientes. En suma, los resultados muestran la factibilidad de realizar manejo de la demanda como parte de una política de eficiencia energética y así hacer frente a shocks negativos de oferta de energía eléctrica en Chile.

JEL Classification: C31, C51, L51, L94, Q41.

Keywords: Electricidad, Demanda, Hogares, Chile

*Los autores agradecen el apoyo del Ministerio de Planificación, propietario intelectual de la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional, CASEN 2006. No obstante, los resultados y análisis que entrega este trabajo son de nuestra única y exclusiva responsabilidad.

[†]ILADES-Universidad Alberto Hurtado, Chile. Email: agostini@uahurtado.cl

[‡]Dpto. de Economía, Universidad Católica del Uruguay. Email: cplottier@gmail.com

[§]ILADES-Universidad Alberto Hurtado, Chile. Correspondencia a Erasmo Escala 1835, Santiago, Chile. Teléfono: (562)8897356. Fax: (562)6920303. Email: saavedra@uahurtado.cl

1 Introducción

Desde la década de los noventa, la demanda de energía eléctrica en Chile mostró un crecimiento sostenido.¹ Este aumento del consumo fue acompañado por incrementos de la oferta, pero ocasionalmente se han registrado inconvenientes para satisfacer la demanda. La sequía y dificultades con el abastecimiento de gas desde países vecinos, en particular Argentina, han afectado negativamente la generación de electricidad. De hecho, la variabilidad hidrológica de la zona central del país, así como la volatilidad en la disponibilidad de gas, ha determinado que sean inevitables 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 consumidores.²

Ante un contexto poco favorable a principios del año 2008,³ el gobierno chileno tomó una serie de medidas para reducir el consumo de energía eléctrica, buscando evitar cortes en el abastecimiento. Algunas de éstas 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.⁴ 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 de 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.⁵ Se estableció una reducción de hasta un 10% en la tensión 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.

Este período de estrechez energética finalizó en noviembre de 2008. Como consecuencia del conjunto de medidas tomadas, entre marzo y octubre del año 2008 se registró por primera vez en muchos años una disminución del consumo eléctrico promedio con respecto a igual período del año anterior (cayó un 1.61%). Por tanto, si bien la demanda de energía eléctrica ha mostrado una sostenida tendencia creciente, ante un período de escasez de oferta se logró reducir el consumo.

En este contexto de demanda creciente y oferta insuficiente, profundizar en el conocimiento del comportamiento de los agentes con respecto al consumo de electricidad aporta información fundamental para la regulación eficiente del sector. Así, este trabajo aporta al identificar los determinantes

¹Según datos de la Comisión Nacional de Energía entre 1990 y el año 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 pero sostenido, aumentando en promedio cada año un 5.7%. Solamente en 2008 cayó el consumo.

²En 1989 y 1990, los clientes debieron reducir su consumo en un 10% durante aproximadamente 45 días. En 1998 y 1999, el suministro fue racionado y se produjeron cortes de luz a clientes regulados (Serra, 2002).

³Una sequía sostenida, menores volúmenes de gas importados desde Argentina, alto precio internacional de los combustibles, un mayor período de reparación de la central Nehuenco y deshielos menores a los pronosticados.

⁴Inicialmente campaña “Ahorra ahora” y a mediados de año “Gracias por tu energía”.

⁵Inicialmente estaba previsto que funcionara del 26 de febrero al 31 de agosto. Luego se extendió hasta el 31 de octubre de 2008.

de la demanda de energía eléctrica de los hogares,⁶ en particular la elasticidad precio. Este trabajo estima la demanda de energía eléctrica residencial usando información de la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN) 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 constituyó una innovación con respecto a estudios anteriores, con la excepción del trabajo de Acuña, (2008). Asimismo, se planteó una función de demanda microfundada en una función de utilidad CES para el consumo de energía de los hogares.

Se encuentra que la elasticidad precio de la energía eléctrica para el consumo residencial es de -0.40 (-0.38), su elasticidad cruzada con respecto al precio del gas licuado es de 0.16 (o.14) y la elasticidad ingreso es de 0.12 (0.11) cuando evaluada en la media (mediana) de las variables independientes. Estos resultados son en general consistentes con estimaciones alternativas (corregir ya sea usando una *dummy* para gas en redes o controlando por el sesgo de selección). Se controló además por dummies regionales, encontrándose que el consumo por hogar en Santiago es significativamente mayor que en regiones, y se controló por otras variables propias del hogar, como el número de personas que lo habitan, número de dormitorios y baños (proxy del tamaño de la casa), material constructivo de la casa (calidad y capacidad térmica de la casa), si es hogar urbano o rural, si se hizo actividad comercial en el hogar, si se contaba con electrodomésticos (lavadora, refrigerador y computador) y/o a gas (calefont), y si el hogar utilizó leña.

De entre estos resultados, resulta interesante constatar que una elasticidad precio de -0.4 respalda realizar 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 en Chile, como efectivamente ha ocurrido en los años 1968-69, 1998-99 y 2007-08. Este resultado es consistente con una serie de trabajos que plantean como una opción real para evitar el racionamiento de energía eléctrica residencial otorgar mayor flexibilidad del precio de la energía eléctrica (Díaz et al 2000; Chumacero et al 2000; Benavente et al 2005a). En teoría, el sistema de precios chileno permite la asignación eficiente de la energía en períodos de escasez, sin embargo en el pasado ante situaciones de exceso de demanda no lo ha hecho,⁷ considerándose que la falta de flexibilidad en la fijación del precio de nudo y la complejidad del sistema de compensaciones fueron motivos que impactaron en este sentido.

Una mirada a los estudios empíricos previos de la demanda por energía residencial en Chile nos dice que son pocas las investigaciones económicas acerca de la demanda de energía eléctrica residencial en Chile publicadas a la fecha. En Benavente et al (2005b), se estimó la demanda residencial de electricidad utilizando datos de panel de ventas mensuales de energía de 18 distribuidoras del Sistema

⁶El consumo de clientes regulados representó el 39% de la demanda total de energía eléctrica en el año 2008. Dentro de este grupo se encuentran los clientes categorizados como residenciales, quienes consumen el 16% del total de la energía eléctrica consumida ese año (CNE, Balance Nacional Energético 2008).

⁷Díaz et al (1999 y 2000) 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 en la crisis energética de 1998-99.

Interconectado Central (SIC) para el período enero 1995 - diciembre 2001. La contribución principal de ese trabajo fue la utilización de información con un alto nivel de desagregación y la estimación de un modelo de ajuste parcial en el que el corto plazo es un mes. Los autores concluyeron que si bien la magnitud de la elasticidad precio de corto plazo parece pequeña (-0.0548), ésta llega a -0.39 en el largo plazo, lo que tiene un impacto económico significativo que puede explicar una fracción importante del aumento de la demanda en períodos donde los precios disminuyen.

Por otra parte, en Chumacero et al (2000) se estimó la elasticidad precio e ingreso de la demanda, con el objetivo de cuantificar el impacto de un mecanismo de regulación en períodos de crisis. Para estimar la demanda utilizaron información mensual de generación total del SIC y precios de nudo. Se estimó una demanda agregada (no sólo residencial) con tres formas funcionales (lineal, semi-logarítmica y logarítmica) identificando una elasticidad precio de corto plazo entre -0.02 y -0.09. Estos valores son similares a los obtenidos en CNE (1986), donde se estimó la demanda agregada con datos anuales y se obtuvo una elasticidad precio entre -0.04 y -0.09 (según reportado en Benavente et al, 2005b).

Acuña (2008) estima la demanda de energía eléctrica con datos desagregados provenientes de la encuesta CASEN 2006, al igual que el nuestro. En dicho trabajo se obtuvo una elasticidad precio de -0.73, bastante mayor que la nuestra. La diferencia con nuestros resultados radica en varios factores, entre los que se puede destacar que la demanda estimada por Acuña es logarítmica, lo que supone que los hogares derivan esta demanda a partir de una función de utilidad tipo Cobb-Douglas, y que no se habría corregido el precio implícito de la energía por el hecho de que la tarifa contiene un cargo fijo y un variable, siendo sólo este último relevante a efectos de las decisiones marginales de los usuarios. Ambos sesgos lleva a sobreestimar la elasticidad precio de la energía de los clientes residenciales.

Nuestro trabajo se organiza del siguiente modo. La sección siguiente revisa la literatura de demanda por energía eléctrica. La sección tres desarrolla un modelo de demanda microfundado que da luces acerca de la forma funcional de la demanda a estimar. La sección cuatro describe los datos utilizados en nuestro estudio y sus principales características. La sección cinco presenta las estimaciones y analiza los principales resultados de este trabajo. Finalmente, la sección seis concluye.

2 Consideraciones desde la Teoría y Evidencia Previa

2.1 Demanda Derivada de Corto y de Largo Plazo

La demanda de energía eléctrica es una demanda derivada, ya que se utiliza para el funcionamiento de aparatos y equipos, que son los que proveen el servicio final que demandan los usuarios. En líneas generales, una decisión vinculada a la utilización de energía eléctrica residencial tiene tres pasos que están estrechamente relacionados y se retroalimentan (Hartman, 1979): (i) la decisión de comprar o reemplazar 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 servicio,⁸ y (iii) la frecuencia e intensidad de la utilización de los equipos adquiridos.

De este modo, la energía eléctrica no genera utilidad en sí misma a los consumidores, sino que su aporte a la utilidad proviene de ser un insumo para procesos o actividades, cuyo resultado sí le 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 de cierta duración, por lo tanto es necesario separar entre la demanda de corto plazo donde el stock de bienes durables se considera dado, luego la decisión es de la frecuencia o intensidad de uso, y la demanda de largo plazo donde los consumidores pueden modificar su stock de bienes durables.

En la literatura se han realizado diversas aproximaciones para el estudio de la demanda de energía eléctrica. Uno de los trabajos pioneros en el tema es el de Houthakker (1951), quien utilizando datos de corte transversal estimó la demanda de energía eléctrica residencial en Reino Unido. Dicho trabajo constituye uno de los primeros esfuerzos en identificar la elasticidad precio e ingreso del consumo de energía eléctrica. Desde entonces, y motivados por la crisis energética de los 70s, se realizaron muchos trabajos empíricos destacándose entre otros los de Fisher y Kysen (1962), Anderson (1973), Taylor (1975); posteriormente Dubin y McFadden (1984) y Parti y Parti (1980); más recientemente Reiss y White (2005). Destacan los trabajos compilatorios de Bohi y Zimmerman (1984) y Dahl (1993).

Entre los principales aspectos identificados en la literatura como dificultades para caracterizar la demanda de energía eléctrica se destacan: (i) la presencia de precios en dos etapas, (ii) la identificación de las demandas de corto y largo plazo y (iii) la imposibilidad de almacenaje de la energía eléctrica que genera demandas con períodos punta (Taylor, 1975; Dahl, 1993). La existencia de precios en dos etapas ha promovido una discusión no cerrada acerca de si es mejor utilizar el precio medio, el precio marginal o alguna combinación de éstos (Dahl, 1993).

En el estudio del tema se han utilizado diversidad de modelos, datos y técnicas de estimación, encontrándose trabajos que utilizaron datos agregados, desagregados, de corte transversal, series de tiempo y datos de panel, modelos con una o múltiples ecuaciones, estáticos o dinámicos y de formas reducidas o estructurales, así como estimaciones no paramétricas. Para la estimación de la demanda de energía eléctrica de los hogares el modelo más simple utilizado ha sido el uniecuacional estático. En estos modelos, la cantidad consumida de energía eléctrica se explica según el precio, el ingreso y otras variables que pueden afectar el consumo de electricidad, como ser aspectos demográficos, características del hogar, variables climáticas y el precio de energías alternativas. Adicionalmente, se ha incluido como variable explicativa el stock de equipos eléctricos disponible en el hogar.

En este marco de formas reducidas estático, de acuerdo a Taylor (1975) la distinción entre corto y largo plazo puede llegar a ser interpretativa. No obstante, lo estándar es asociar los resultados a ajustes de largo plazo cuando se utilizan datos de corte transversal, pues se supone que las

⁸Las características técnicas son las más relevantes debido a que afectan el consumo de energía, pero también influyen en la decisión el diseño, tamaño y demás funciones adicionales por encima del servicio básico que presta el equipo.

diferencias entre los hogares representan adecuadamente los ajustes en los hábitos de consumo e inversión a precios diferentes, ajustes que sólo pueden hacerse en el largo plazo. La utilización de series de tiempo, en particular si son datos en períodos cortos, se ha considerado que capturan efectos de corto plazo, mientras que la utilización de datos de corte transversal repetidos en el tiempo permitiría medir una mezcla de efectos de corto y largo plazo (Dahl, 1993). Taylor (1975) propuso que la inclusión del stock de capital como variable explicativa determine que sea un estudio de corto plazo, donde se calcula el efecto en el consumo de cambios en el precio y el ingreso, manteniendo fijo el stock de bienes durables.

Otra forma de distinguir entre los efectos de corto y largo plazo es dinamizar los modelos, lo que se ha realizado incluyendo variables rezagadas, ya sea la variable endógena, ésta y las explicativas, o una combinación de diferentes rezagos de las independientes, así como incorporando cuál sería el ajuste del consumo según las existencias de equipos, su tasa de utilización y depreciación. Uno de los primeros trabajos en incorporar explícitamente la distinción entre corto y largo plazo según el stock de equipos pueda ajustarse o no es el de Fisher y Kaysen (1962). Con esta aproximación, las elasticidades de corto plazo se obtienen controlando directamente por el stock de equipos y las de largo plazo se obtienen de una segunda ecuación que modela la demanda por equipos. La principal limitación a este enfoque es contar con información del stock de equipos y, ciertamente, los problemas de correlación espúrea que aparecen con este tipo de modelos.

En los modelos de ajuste parcial en cambio, no es necesaria la información del stock de equipos. Se basan en que el consumo deseado es el que realizarían los usuarios 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 antes cambios en los precios (Benavente et al, 2005b). De este modo, se modela el consumo de energía en función del consumo de energía pasado y parámetros que indican la velocidad de ajuste, pudiendo distinguirse entre la elasticidad de corto y largo plazo.

Otro tipo de modelos utilizados con frecuencia en la literatura han sido los de múltiples ecuaciones. Un conjunto han sido los que utilizando datos agregados analizaron la sustituibilidad de energéticos, considerando la participación de cada energético en la demanda total de energía. Otra rama de investigaciones en cambio aplicó modelos estructurales que incorporan ecuaciones del uso del stock de aparatos y equipos y de la decisión de compra de los equipos. Un tercer tipo de modelos han sido los sistemas de gasto, los que consideran el gasto simultáneo de los consumidores y permiten incluir restricciones teóricas del comportamiento del consumidor. Por último los sistemas de ecuaciones simultáneas que representan un mercado particular, donde la oferta y la demanda se han estimado simultáneamente (Dahl, 1993).

Además, se han realizado esfuerzos para desagregar la demanda total de energía en los usos finales sin contar con datos de medición del uso de cada aparato. El método más frecuente en este tipo de estimaciones ha sido el análisis de demanda condicional, donde se explota la heterogeneidad en la disponibilidad de equipos de los hogares (Parti y Parti, 1980). En este tipo de aproximaciones sin embargo, no es posible estimar la demanda de los equipos de alta penetración, como la iluminación

por ejemplo (Bartels y Fiebig, 2000).

2.2 Evidencia Empírica

Conceptualmente, aumentos en el precio de la energía pueden 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 la energía) o a la sustitución entre energéticos. Asimismo, al ser una demanda derivada, ante un incremento de precios la modificación puede ser de la mezcla de esfuerzos para obtener el servicio final, sin necesidad de incrementar el uso de una energía alternativa (por ejemplo: si el servicio es calefacción, puede mejorarse el aislamiento para así utilizar menos electricidad y no se utiliza una energía sustituta) (Sweeney, 1984).

Empíricamente, las estimaciones acerca de la elasticidad ingreso y precio de la energía eléctrica han arrojado resultados dispares, con una alta varianza según el tipo de datos, técnicas de estimación y sujetos de estudio.

Existe cierto consenso en que la demanda residencial es elástica al precio en el largo plazo, pero la magnitud de esta elasticidad no está claramente definida. Revisiones de literatura previas a la década de los noventa sugieren que la elasticidad precio de largo plazo estaría en torno a -1 (Dahl, 1993).⁹ De acuerdo a Sweeney (1984) y Bohi y Zimmerman (1984), ésta no sería menor a -0.7; Taylor (1977) concluye que estaría en torno a -0.9 y Berndt y Samaniego (1984) la estiman para México en -0.8. Por otro lado, Parti y Parti (1980), Durbin y McFadden (1984), Halvorsen y Larsen (2001), Filippini y Pachauri (2002), Fernández (2006) y Yoo et al (2007) obtienen valores de -0.58, -0.32, -0.26, -0.44 y -0.25 para la elasticidad precio de largo plazo, siendo estas cuatro últimas respectivamente para Noruega, India, España y Corea.

Reiss y White (2005) estimaron la demanda residencial por energía eléctrica para California, incorporando en la estimación la existencia de un esquema de precios en dos etapas y la heterogeneidad de los hogares según su disponibilidad de equipos y condiciones sociodemográficas. La elasticidad precio promedio anual obtenida fue -0.39, mientras que los resultados mostraron un comportamiento inelástico ante cambios en el ingreso. Los hogares con equipos de calefacción o aire acondicionado eléctricos presentaron una mayor elasticidad precio (-1.02 y -0.64 respectivamente) que los hogares que no cuentan con ninguno de estos equipos, donde la elasticidad precio fue cercana a cero (-0.08), encontrándose además una relación decreciente entre la elasticidad precio y los ingresos del hogar. En California, este segmento de hogares con un comportamiento inelástico al precio, que utilizó la electricidad sólo para los usos básicos (su mayor equipo es un refrigerador) representaría el 44% del total.

Por otra parte, la elasticidad precio sería menor en el verano que en el invierno, lo que puede interpretarse como una menor capacidad de sustitución de los equipos eléctricos de frío con relación a la calefacción (Dahl, 1993; Filippini, 2002).

⁹La mayor parte de los estudios son para Estados Unidos o Gran Bretaña.

Con respecto a la elasticidad ingreso, en los trabajos compilatorios analizados se establece que la varianza en los estudios es demasiado alta, no pudiendo manifestarse un resultado coincidente. Las estimaciones con datos para los hogares sugieren una elasticidad ingreso de largo plazo menor a 0.4, mientras que los estudios con datos agregados establecen que sería mayor a 0.4 pero menor que 1.

Para Chile, Benavente et al (2005b) utilizaron datos de panel de venta de las distribuidoras y un modelo de ajuste parcial se estimó una elasticidad precio residencial en el mes de -0.0548, de -0.27 en el corto plazo (esto es a un año) y en el largo plazo -0.39. En trabajos previos se habían estimados valores más bajos para la elasticidad precio del consumo de energía eléctrica. En Chumacero et al (2000) se estimó una elasticidad precio de corto plazo en un rango entre -0.024 y -0.099, según la forma funcional del modelo, mientras que en CNE (1986) se ubicó entre -0.04 y -0.09 (según reportado en Benavente et al, 2005b). En Acuña (2008) en cambio se presentó un resultado de una elasticidad precio bastante mayor, de -0.73, utilizando información de corte transversal para el año 2006.

Estas diferencias en las estimaciones en algunos casos pueden parecer de pequeña magnitud, pero según han establecido algunos autores pueden tener un impacto económico significativo en el mercado eléctrico. Si en California el precio marginal se incrementa en 3 centavos por KWh, una diferencia en la estimación de la elasticidad de -0.1 (suponer -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). Por su parte, Benavente et al (2005a) analizaron el impacto que tendría que los usuarios percibieran el costo de oportunidad de la electricidad durante una escasez (y no la tarifa residencial BT1) y encontraron que, tres meses después del aumento, la demanda se hubiera reducido un 9.5%. Considerando que el déficit de energía en la crisis 1998-99 fue cercano a 10%, los autores concluyeron que la elasticidad de la demanda sería suficiente para manejar una escasez con cambios en los precios.

Por último, dado que los costos de generación crecen de modo exponencial al acercarse a la máxima capacidad instalada, modificaciones de la demanda en los límites pueden generar impactos de relevancia económica (Albadi y El-Saadany, 2008), lo cuál aporta a la importancia de tener el conocimiento más preciso posible acerca del comportamiento de los consumidores.

3 Un Modelo de Demanda por Energía

El tipo de información disponible para esta investigación sólo permite hacer una estimación de corte transversal. La variable dependiente es el consumo en KWh mensual del hogar, el cual se explica por la frecuencia e intensidad con la que los hogares hayan utilizado en ese mes su stock de aparatos eléctricos, para consumir los servicios finales que éstos les proveen, ya sea iluminación, cocina, calefacción u otros. Al revisar la literatura empírica se encuentra una gran diversidad de formas funcionales y métodos de estimación. Es interesante el trabajo de Zarnikau (2003) quién testeó formas funcionales típicas en demandas de energía (lineal, logarítmica y translog) para Estados Unidos contrastándolas con opciones no paramétricas, encontrando que para estudios de corte

transversal las formas funcionales típicas no permiten dar cuenta de la “verdadera” relación entre las variables que estarían detrás del proceso generador de los datos que entregarían las opciones no paramétricas. Por ello, aunque suponemos en el desarrollo del modelo que los hogares tienen una función de utilidad CES, flexibilizaremos los parámetros a estimar precisamente para dar espacio a relaciones no cubiertas por esta forma funcional.¹⁰

En nuestro trabajo suponemos que la función de demanda es generada por un proceso de maximización de utilidad de los hogares. Se supone que el consumo de energía es separable de los demás bienes que consume el hogar y que las preferencias de los consumidores pueden resumirse a través de una función de utilidad de elasticidad de sustitución constante (CES), la cual luego es flexibilizada en algunos parámetros claves:

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

donde x_{i1} es la cantidad de energía eléctrica consumida por el hogar i y x_{i2} representa la cantidad consumida de gas licuado (u otro sustituto). Si bien la utilidad que perciben los hogares depende del consumo de servicios provistos por aparatos que requieren de energía para su funcionamiento, el dato disponible fue la cantidad de energía consumida, por lo cual la demanda por estos servicios al interior del hogar se representó en la función de utilidad con la cantidad de energía consumida.

Los hogares racionales buscan maximizar su utilidad dada su restricción presupuestaria $y_i = p_1 \cdot x_{i1} + p_2 \cdot x_{i2}$. Sea $\alpha = \frac{1}{\rho-1}$, luego la función de demanda asociada para el consumo de electricidad por parte del hogar i (x_{i1}) es:

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

Para identificar la variación en el consumo ante modificaciones en el precio se explotó el hecho que los hogares se enfrentan a diferentes precios de electricidad según la comuna donde estén localizados, lo cual sumado a una muestra grande y heterogénea permite identificar, todo lo demás constante, la influencia de distintos precios en el consumo de energía eléctrica. Las elasticidades precio, cruzada e ingreso estarían dadas por las siguientes expresiones:

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

Dos problemas de utilizar una función de utilidad CES son que la elasticidad ingreso es igual a 1 y que el efecto indirecto sobre la elasticidad precio sea igual a la elasticidad cruzada. Como no existe evidencia en la literatura que permita suponer estas restricciones como válidas, se flexibilizaron algunas de las restricciones teóricas para permitir que los datos pudieran validar o no las imposiciones del modelo CES.

De este modo, se propuso flexibilizar el modelo desarrollado de dos maneras. Por un lado, se incluyó un parámetro en el ingreso (β), a los efectos de identificar el impacto que tienen los distintos

¹⁰La función CES supone además de una elasticidad de sustitución constante entre los diferentes bienes consumidos, que la elasticidad ingreso es igual a uno (homoteticidad) o que el efecto indirecto en la elasticidad propia tiene la misma estructura de la elasticidad cruzada.

niveles de ingreso en la demanda de electricidad. Si β es estadísticamente igual a 1 entonces la restricción impuesta por la función CES sería correcta, caso contrario las estimaciones serían más acertadas que lo supuesto por el modelo. Por otra parte, se permitió que fueran diferentes los coeficientes asociados al impacto indirecto del precio propio (amplificándolo por γ) y del cruzado (amplificándolo por δ) en la función de demanda. Si $\gamma = \delta = 1$ sería validado el supuesto implícito en una función CES, caso contrario nuevamente los resultados empíricos serían más certeros. Por último se agregó un término incluyendo k variables con características geográficas y sociodemográficas del hogar dummies (d_k), los que permiten reescalar la demanda y controlar por el uso de artefactos eléctricos y su efecto sobre el consumo de energía eléctrica en cada hogar.

De este modo, la función de demanda estimada fue:

$$\begin{aligned}
 x_{i1} &= \frac{p_1^\alpha \cdot y_i^\beta}{p_1^{(\alpha+1)\cdot\gamma} + p_2^{(\alpha+1)\cdot\delta}} \cdot \exp(b_0 + \sum_k d_k) \\
 \Leftrightarrow \\
 \ln x_{i1} &= b_0 + \alpha \cdot \ln p_1 + \beta \cdot \ln y_i - \ln \left(p_1^{(\alpha+1)\cdot\gamma} + p_2^{(\alpha+1)\cdot\delta} \right) + \sum_k d_k
 \end{aligned}$$

Obteniéndose las siguientes expresiones para las elasticidades precio, cruzada con energía sustituta e ingreso:

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

4 Datos Utilizados

El análisis se realizó utilizando datos de corte transversal por hogar para octubre y noviembre del año 2006 de la Encuesta Nacional de Caracterización Nacional (CAsEN)¹¹ y se complementó con información de precios de la Comisión Nacional de Energía (CNE).

En la edición 2006 de la CAsEN se incorporó el módulo energía dentro de los temas emergentes, teniendo como objetivo conocer el consumo de diferentes tipos de energía al interior de los hogares, por lo que se relevó información acerca del consumo de gas licuado, gas de cañería y leña. Por otra parte, en el módulo de vivienda se realizaron preguntas acerca de la disponibilidad y consumo de energía eléctrica, recopilando datos del consumo en KWh y montos pagados por los hogares (Tabla N° 1). 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 2006 (95% de los hogares de la muestra). Sólo en este conjunto de hogares se consultó acerca de la cantidad de electricidad consumida en el mes anterior. Así, la muestra de hogares consultados se aproximó a 70.000, de los cuales el 50% (34.072) respondió acerca de los KWh consumidos en el

¹¹El 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.

hogar en el mes previo a la realización de la encuesta. (Tabla N° 2).

Tabla N° 1: Información de la Encuesta

Información de energía disponible en la CASEN 2006		
Energía	Variables	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). Dummy: Si - No.
Gas Licuado	V30	Utilización de gas licuado en el hogar en el último año. Dummy: Si - 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 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 m3, según última boleta disponible
	V32B_LTR	Consumo de gas de cañería mensual en lts, 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. Dummy: Si - 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 en base al Manual de Trabajo de Campo, CASEN 2006.

Tabla N° 2: Disponibilidad de Energía Eléctrica

v7a: La vivienda donde Ud vive, ¿dispone de energía eléctrica? (# hogares y %)	Información sobre Kwh											
	Urbano		Rural		Total		Urbano		Rural		Total	
Sí, de la red pública con medidor propio	41,813	93%	22,907	79%	64,720	88%	22,069	53%	10,543	46%	32,612	50%
Sí, de la red pública con medidor compartido	2,511	6%	2,702	9%	5,213	7%	752	30%	708	26%	1,460	28%
<i>Sub-total</i>	44,324	99%	25,609	89%	69,933	95%	22,821	51%	11,251	44%	34,072	49%
Sí, de la red pública sin medidor	323	1%	673	2%	996	1%	67%		33%		100%	
Sí, de un generador propio o comunitario	19	0%	874	3%	893	1%						
Sí, a través de placa solar	0	0%	237	1%	237	0%						
Sí, de otra fuente	27	0%	121	0%	148	0%						
No dispone de energía eléctrica	157	0%	1,343	5%	1,500	2%						
Sin dato	3	0%	10	0%	13	0%						
Total	44,853	100%	28,867	100%	73,720	100%						
		61%		39%								

Fuente: CASEN 2006.

Con relación a la utilización de las demás energías, el 86.2% de los hogares de la muestra utilizó gas licuado en cilindros, el 61.4% leña y el 4.4% gas por cañería, siendo en estos últimos un total de 3.260 hogares (Tabla N° 3).

Tabla N° 3: Fuentes Energéticas Utilizadas en los Hogares

(número de hogares)

	Electricidad	Gas Licuado			Gas de cañería			Leña		
		Si	No	N/D	Si	No	ND	Si	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
	69,933	61,262	8,661	10	3,161	66,751	21	42,123	27,796	14
		87.6%	12.4%	0.0%	4.5%	95.4%	0.0%	60.2%	39.7%	0.0%
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
	3,787	2,319	1,464	4	99	3,685	3	3,171	613	3
		61%	39%	0%	3%	97%	0%	84%	16%	0%
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: CASEN 2006

Por otra parte, dentro del conjunto de hogares que respondieron acerca de la cantidad de KWh consumidos, la proporción de hogares por fuente energética se mantuvo en valores similares, no pareciendo existir un sesgo con respecto al uso de una u otra fuente de energía dentro de los hogares que cuentan con el dato del consumo mensual de electricidad (Tabla N° 4).¹²

Tabla N° 4: Hogares con Información de Consumo de Electricidad

(fuentes energéticas utilizadas)

	Gas licuado		Leña		Gas por cañería	
Si	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%
ND	2	0.0%	4	0.0%	7	0.0%
Total	34,072	100.0%	34,072	100.0%	34,072	100.0%

Fuente: CASEN 2006

Dentro de esta muestra de 34,072 hogares se utilizaron en la estimación sólo los hogares que no

¹²Incluyendo variables de ingreso, geográficas y otras características del hogar (y del jefe de hogar) se analizó la probabilidad de responder el dato de consumo de KWh buscando identificar la existencia de algún tipo de sesgo de selección al estimar la demanda, pero no se obtuvieron resultados concluyentes, por lo que se trabajó únicamente con la muestra de hogares que respondieron el dato del consumo de energía eléctrica.

comparten vivienda (97% del total).¹³ Por otra parte, debido a observaciones en los extremos de la distribución que generaron sospechas acerca de la posible presencia de errores en la información, se consideró necesario eliminar las colas de la distribución (1% de la muestra), lo cual sumado a la falta de información en algunas de las variables (suponiéndose esta carencia de datos aleatoria al no identificarse ningún patrón común), determinó que la estimación final se realizara sobre 32.355 hogares.

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 cilindros, 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 (Tabla N° 5).

Tabla N° 5: Estadísticos Básicos del Consumo de Energía Residencial

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

Variable	N	Media	Std. Dev.	Min	Max
Electricidad (KWh/mes)	32,355	129.27	90.88	6	699
Gas licuado (K/mes)	28,722	15.63	13.21	1	200
Gas cañería (m3/mes)	982	125.25	170.14	1	977
Kilbs leña (Anual)	20,797	5,632.59	7,626.82	3	94,000
\$/mes					
Electricidad	32,355	13,703	9,786	921	213,874
Gas 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 CASEN 2006.

Con respecto a los precios, utilizando los datos de la CASEN se incorporó un precio implícito por hogar para la energía eléctrica, ya que se contó con información del monto pagado y de la cantidad consumida. Dado que los hogares se enfrentan a una tarifa en dos partes, para identificar un precio que sea asimilable al precio marginal fue necesario extraer el cargo fijo del gasto reportado en electricidad. De este modo se calculó un precio para cada hogar $p_i = \frac{g_i - fc}{q_i}$, siendo g_i el gasto en electricidad reportado para el mes, fc el cargo fijo por comuna obtenido con datos de la CNE y q_i el consumo en KWh por hogar reportado en la CASEN. (Tabla N° 6)¹⁴ Con respecto a los cargos fijos

¹³En 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 cilindros, 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.

¹⁴En 30 hogares de la muestra completa el gasto reportado por electricidad es menor al mínimo cargo fijo cobrado en la comuna donde se localiza el hogar. No es posible saber si ello es producto de que esos hogares sean beneficiarios del subsidio a la energía eléctrica o no. Al quitar el 1% de la distribución dichas observaciones desaparecen.

por comuna, en base a información de la CNE para octubre de 2006 se identificaron 48 cargos fijos 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 utilizó como precio exógeno el cargo variable cobrado por distribuidora en cada comuna) (Tabla N° 7).¹⁵

Tabla N° 6: Precio Implícito de la Electricidad (\$/KWh)

N	Valores únicos	Media	Std. Dev.	Min	Max
32,355	27,461	113.597	115.362	0.195	4,761.166

Fuente: Elaborado por los autores basados en CASEN 2006.

Tabla N° 7: Precios Exógenos de la Electricidad

Variable	Valores únicos	Media	Std. Dev.	Min	Max
\$/KWh	61	91.041	15.706	68.581	131.926
Cargo Fijo	48	955.427	205.729	542.320	1,362.220

Fuente: Elaborado por los autores basados en CASEN 2006.

Por otra parte, el precio del gas licuado se obtuvo de fuentes externas, ya que la CASEN no reportó información del gasto en esta energía. Debido a que el precio es decreciente con la cantidad consumida, fue necesario realizar supuestos acerca del 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 otra parte, los hogares podrían buscar optimizar el consumo y comprar la cantidad necesaria para cubrir su demanda, debiendo imputarse entonces el precio de acuerdo a los rangos de consumo. Asumiendo este comportamiento optimizador sin fuertes restricciones de liquidez se adjuntaron los precios de gas licuado a los hogares de la muestra (Tabla N° 8).¹⁶

Con respecto a las demás características consideradas en la estimación, el ingreso promedio por hogar se ubica en torno a 460.000 pesos por mes. Los hogares tienen en promedio entre 3 o 4 baños y dormitorios, mientras que son habitados por cerca de 4 personas. Debido a que se pregunta al jefe de núcleo acerca de la tenencia de artefactos eléctricos no es posible identificar con precisión el

¹⁵Se 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.

¹⁶En 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 al 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. Al momento de estimar se realizan igualmente pruebas de robustez imputando el precio del cilindro de 15 kgs. por región.

número de aparatos por vivienda, tan sólo puede saberse si están presentes o no los equipos en el hogar. Tampoco se consulta acerca de la fuente de energía de los artefactos. En todas las variables utilizadas las proporciones de la muestra reducida (32.255 hogares) se asemejaron al total (73.720 hogares). Ver detalle en tabla N° 9.

Tabla N° 8: Precio del Gas Licuado en Cilindros (\$/kg)

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

Nota: En las regiones I y II no estaba disponible la información de 11kgs. Se imputa un precio considerando la proporción de precios observada en las demás regiones.

Fuente: CNE en base a datos Encuesta SERNAC y CASEN 2006.

Tabla N° 9: Estadísticos Descriptivos de las Variables Utilizadas

Variables	Media	Std. Dev.	Min	Max
<i>Ingreso promedio del hogar</i>	459,083	660,663	486	36,455,920
<i>Numero de personas en el hogar</i>	3.70	1.71	1	16
<i>Número de dormitorios y baños</i>	3.58	1.30	-	16
<i>Lavadora</i>	0.55	0.50	0	1
<i>Refrigerador</i>	0.86	0.35	0	1
<i>Calefont</i>	0.47	0.50	0	1
<i>Computador</i>	0.21	0.41	0	1
<i>Urbano</i>	0.67	0.47	0	1

Fuente: Elaborado por los autores basados en CASEN 2006.

El ingreso promedio en la muestra completa es superior (492 mil pesos por mes), pero presenta una distribución por quintil de ingreso similar a la muestra utilizada.

Tabla N° 10: Distribución de Hogares por Quintil de Ingresos

Quintil autónomo nacional	Número de hogares				Dif
n/d	-	0%	62	0%	0.1%
I	9,406	29%	20,482	28%	1.3%
II	7,615	24%	16,654	23%	0.9%
III	6,526	20%	14,636	20%	0.3%
IV	5,096	16%	12,276	17%	-0.9%
V	3,712	11%	9,610	13%	-1.6%
	32,355	100%	73,720	100%	

Fuente: Elaborado por los autores basados en CASEN 2006.

La distribución geográfica de los hogares incluidos en la estimación en líneas generales se asemeja al total de la muestra, sin embargo algunas regiones están sub-representadas y otras sobrerrepresentadas, siendo los casos de mayor diferencia las regiones metropolitana (RM) y del Bío-Bío (VIII).

Tabla N° 11: Distribución de Hogares por Regiones

Región	Número de hogares				Dif
I	361	1%	2,233	3%	-2%
II	520	2%	1,905	3%	-1%
III	621	2%	1,851	3%	-1%
IV	2,295	7%	3,250	4%	3%
V	2,996	9%	7,671	10%	-1%
VI	3,280	10%	6,950	9%	1%
VII	3,642	11%	6,472	9%	2%
VIII	7,359	23%	11,577	16%	7%
IX	3,834	12%	7,012	10%	2%
X	3,069	9%	8,748	12%	-2%
XI	488	2%	1,189	2%	0%
XII	442	1%	1,052	1%	0%
RM	3,448	11%	13,810	19%	-8%
Total	32,355		73,720		

Fuente: Elaborado por los autores basados en CASEN 2006.

5 Estimación y Resultados

De acuerdo a lo relevado en la literatura, dentro de las variables explicativas de la demanda de energía (adicionales a precios e ingresos) se encuentran 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 estas aproximaciones y la información disponible se planteó el siguiente modelo de regresión:

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

donde las variables *elect* y *GLP* respectivamente corresponden a energía eléctrica y gas licuado, las que como se explico pueden diferir entre hogares. Respecto de las variables incluidas con *dummies*, doce de ellas se refieren a cada región de residencia del hogar *i* existente al año 2006 ($r_{i,k}$) y las otras 10 a variables que caracterizan al hogar *i* y que influyen en su demanda ($z_{i,k}$). La definición y estadísticas básicas de ellas se consignan en la Tabla N° 12.

Tabla N° 12: Variables Asociadas a *Dummies*

		Media	Std. Dev.	Min	Max	# hogares	
						1	0
<i>q</i>	Kwh consumidos por el hogar	129,27	90,88	6	699		
<i>ingreso</i>	ingreso promedio del hogar	459,083	660,663	486	36,455,920	-	-
<i>numper</i>	número de personas en el hogar	3,70	1,71	1	16	-	-
<i>domban</i>	número de dormitorios y baños	3,58	1,30	-	16	-	-
<i>comercio</i>	=1 si utilizó electricidad como insumo de actividad comercial al interior del hogar en el mes, 0 en otro caso	0,06	0,24	0	1	2,047	30,308
<i>matbien</i>	=1 si los materiales de construcción del hogar son los más aislantes y están en buen estado, 0 de otro modo	0,61	0,49	0	1	19,603	12,752
<i>lavadora</i>	=1 si el hogar tiene al menos una lavadora, 0 de otro modo	0,55	0,50	0	1	17,797	14,558
<i>refrigerador</i>	=1 si el hogar tiene al menos un refrigerador, 0 de otro modo	0,86	0,35	0	1	27,673	4,682
<i>calefont</i>	=1 si el hogar tiene al menos un calefont, 0 de otro modo	0,47	0,50	0	1	15,204	17,151
<i>computador</i>	=1 si el hogar tiene al menos un computador, 0 de otro modo	0,21	0,41	0	1	6,860	25,495
<i>urbano</i>	=1 si el hogar está localizado en zona urbana, 0 en zona rural	0,67	0,47	0	1	21,653	10,702
<i>leña</i>	=1 si el hogar utilizó leña en el último año, 0 de otro modo	0,65	0,48	0	1	20,961	11,394
<i>gascan</i>	=1 si el hogar utilizó gas por cañería, 0 de otro modo	0,04	0,20	0	1	1,380	30,975
<i>r1 a r12</i>	Dummy por región	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaborado por los autores basados en CASEN 2006.

Se analizaron variables considerando características del jefe de hogar, presencia de niños o adultos mayores en el hogar pero no resultaron significativas. Con respecto a controlar por condiciones climáticas no se logró incorporar un dato de temperatura promedio con una variación que aportara al estudio, por lo cual este aspecto no fue incluido en el análisis más allá de los efectos que hayan sido capturados por la dummy regional.

El modelo se estimó con Mínimos Cuadrados No Lineales, corrigiendo por heterocedasticidad (ver Tabla N° 13). Se buscó también explicitar la elección de los hogares de contar o no con gas por cañería, encontrándose posible evidencia de un sesgo a la baja en los parámetros que determinan la elasticidad si se incorpora una variable dicotómica de utilizar o no gas de cañería, en vez de incluir como variable explicativa una corrección por sesgo de selección (inversa de Mills). La evidencia sin embargo no fue totalmente concluyente en favor de la existencia de sesgo de selección, por lo que se

presentan ambos resultados.¹⁷

Tabla N° 13: Resultados de la Estimación

Variable Dependiente: lnq					
Variables Independientes	Con dummy gas de cañería	Corregido sesgo selección	Variables Independientes	Con dummy gas de cañería	Corregido sesgo selección
lnp _{electricidad}	- 1.410 * (0.102)	- 1.391 * (0.100)	r12	- 0.228 * (0.031)	- 0.011 (0.040)
lny	0.109 * (0.005)	0.116 * (0.005)	comercio	0.330 * (0.014)	0.326 * (0.014)
gama	2.863 * (0.518)	2.957 * (0.557)	leña	0.036 * (0.009)	0.026 * (0.009)
delta	2.707 * (0.431)	2.781 * (0.462)	numper	0.075 * (0.002)	0.073 * (0.002)
r1	- 0.028 (0.028)	- 0.050 *** (0.028)	dormban	0.061 * (0.003)	0.063 * (0.003)
r2	- 0.073 * (0.025)	- 0.101 * (0.026)	matbien	- 0.029 * (0.007)	- 0.027 * (0.007)
r3	- 0.247 * (0.022)	- 0.274 * (0.022)	lavadora	0.110 * (0.007)	0.109 * (0.007)
r4	- 0.130 * (0.015)	- 0.153 * (0.015)	refrigerador	0.288 * (0.012)	0.285 * (0.012)
r5	- 0.099 * (0.013)	- 0.100 * (0.013)	calefont	0.059 * (0.008)	0.063 * (0.008)
r6	- 0.143 * (0.014)	- 0.162 * (0.014)	computador	0.167 * (0.008)	0.181 * (0.008)
r7	- 0.207 * (0.014)	- 0.222 * (0.014)	urbano	0.033 * (0.008)	0.034 * (0.008)
r8	- 0.211 * (0.013)	- 0.219 * (0.013)	gascan	0.049 * (0.016)	-
r9	- 0.244 * (0.016)	- 0.255 * (0.016)	lambda	-	0.423 * (0.069)
r10	- 0.196 * (0.016)	- 0.210 * (0.016)	bo	3.733 * (0.116)	3.321 * (0.136)
r11	- 0.074 ** (0.030)	- 0.094 * (0.030)	Observaciones	32,355	32,355
			R²	0.3831	0.3835

Errores estándar asimptóticos en paréntesis

* Significativos al 1%. ** Significativos al 5%. *** Significativos al 10%.

Con los estimadores de los parámetros se calcularon las elasticidades precio, cruzada e ingreso, evaluándolas en la media y en la mediana del precio de la energía eléctrica y del gas licuado. Para

¹⁷El coeficiente de la inversa de Mills en la estimación del modelo no lineal es significativo, lo cual sería evidencia de la existencia de un sesgo. Sin embargo, como control se estimó una demanda con una funcional lineal doble logarítmica por MCO, (bootstrap de 2000 iteraciones) y el coeficiente de lambda no fue significativo.

obtener un intervalo de confianza de estas elasticidades se utilizó el método delta (Tabla N° 14).

Tabla N° 14: Elasticidades Precio e Ingreso para los Hogares

Elasticidades	Dummy gas de cañería		Sesgo de selección	
	Valuada en la media	Valuada en la mediana	Valuada en la media	Valuada 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 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)

En paréntesis intervalo de confianza al 95%.

De acuerdo a esta estimación, la elasticidad precio de largo plazo del consumo de energía eléctrica residencial, utilizando la evaluación en la media y en la mediana de los precios, se ubicaría entre -0.36 y -0.43. Tomando la estimación punto evaluada en la media, los hogares que se enfrentaron a un precio un 1% superior, todo lo demás constante, consumieron 0.4% menos. Si consideramos la elasticidad evaluada en la mediana el comportamiento de los usuarios sería un poco menos sensible antes cambios en los precios, cayendo la demanda un 0.38% ante un aumento del 1% del precio por KWh.¹⁸

Estos resultados son comparables con otros obtenidos en investigaciones locales y también internacionales, según ya se ha señalada en este trabajo. Benavente et al (2005b) para Chile y Reiss y White (2005) para California estimaron una elasticidad precio de -0.39 para el consumo residencial, mientras que Halvorsen y Larsen (2001) estimaron una elasticidad de largo plazo de -0.44 para Noruega.

En el caso de otros antecedentes para Chile, los resultados obtenidos en este trabajo mostraron una mayor reacción frente a los precios que la planteado en CNE (1986) y Chumacero et al (2000), donde se estimaron elasticidades inferiores a -0.1. Sin embargo, se encontró una elasticidad precio inferior al -0.73 planteado por Acuña (2008), quien utilizó también la información de la CASEN. Las diferencias entre dicho trabajo y el nuestro, que llevan a un resultado diferente en la elasticidad de la demanda, son que nosotros hemos utilizado una función de utilidad que permite no linealidades en las relaciones entre las variables, hemos eliminado el 1% de la distribución para excluir los outliers que generan un sesgo hacia arriba en la estimación de las elasticidades, se han incluido variables de control adicionales (tenencia de aparatos eléctricos o dummies regionales), se ha corregido el sesgo de selección por contar o no con gas de cañería, y se ha usado como precio medio del KWh sólo

¹⁸Considerando el precio implícito de la electricidad obtenido de la CASEN el precio medio es 131.6 \$/KWh, mientras que el precio en la mediana es 94.73 \$/KWh. Este último se aproxima al precio medio exógeno obtenido según datos de la CNE (91.04 \$/KWh). Si bien conceptualmente no es una elasticidad que explique el comportamiento dinámico ante una caída de los precios en algunos casos se expresó de este modo para así resumir el resultado.

el componente variable del total pagado por los usuarios para evitar el sesgo de sobreestimar la elasticidad precio.

La utilización de un modelo en el que se incluyó una dummy para la utilización de gas de cañería o uno donde se corrigió por sesgo de selección no determinó diferencias en la estimación de la elasticidad precio. En cambio en la elasticidad cruzada entre gas licuado y electricidad, y en la elasticidad ingreso sí se observaron algunas diferencias, pero de baja magnitud.

La elasticidad ingreso mostró que, todo lo demás constante, hogares con un ingreso un 1% superior presentaron un consumo de electricidad un 0.11% más alto. Al incluir un parámetro de corrección de sesgo de selección esta elasticidad aumentó a 0.12%. Considerando ambos modelos, el intervalo de confianza para la elasticidad ingreso se ubicó entre 0.10 y 0.13. Cabe destacar que utilizando diversos modelos y pruebas de robustez la elasticidad ingreso se mantuvo siempre dentro de este intervalo. Por lo tanto, ante igualdad de condiciones los hogares que tuvieron un ingreso un 1% más alto consumieron entre 0.1% y 0.13% más energía eléctrica.

Esta baja incidencia del ingreso en la determinación del consumo de energía eléctrica coincide con algunos estudios previos. En un extremo, Reiss y White establecieron un impacto nulo del ingreso en la demanda. Más cercano al resultado obtenido en este trabajo fueron las estimaciones de Parti y Parti (1980), con una elasticidad ingreso de 0.15, Halvorsen y Larsen (2001) entre 0.06 y 0.13 y García-Cerruti (2000) en 0.15. En los trabajos para el mercado chileno la elasticidad ingreso estimada ha sido mayor, coincidiendo Benavente et al (2005b) y Acuña (2008) en un valor de 0.2.

En el caso de la elasticidad cruzada entre energía eléctrica y gas licuado se detectó que son productos con cierto grado de sustitución al interior del hogar. De acuerdo a la ecuación (*) para que cambios en el precio del gas licuado tuvieran un impacto nulo en la demanda de energía eléctrica sería necesario que $\delta = 0$, lo que definitivamente no es así pues el parámetro estimado es significativamente distinto de cero. Luego, considerando el precio medio, todo lo demás constante, ante un precio del gas licuado un 1% superior los hogares consumieron 0.16% más electricidad, siendo esta misma relación 0.14% si se evalúa en la mediana. El intervalo de confianza de la elasticidad cruzada tiene una mayor amplitud que en los demás casos, estimándose entre 0.09 y 0.21. Dentro de este rango se situó la estimación de 0.18 propuesta por Benavente et al (2005b) para Chile. Dubin y McFadden (1984) en cambio identificaron un grado de sustitución mayor, con una elasticidad cruzada de 0.39 entre gas licuado y electricidad para hogares en Estados Unidos. Si bien es con respecto a gas natural (que en el caso de Chile sólo podría consumirse en determinadas zonas) en el trabajo compilatorio de Dahl (1993) se propuso una la elasticidad cruzada residencial entre electricidad y gas natural de 0.18. No obstante lo analizado, la evidencia no es totalmente concluyente acerca de este rango, ya que en algunas pruebas de robustez la estimación de la elasticidad cruzada se modifica de modo significativo, llegando incluso a cambiar de signo.¹⁹

En cuanto a las variables de escala o control (dummies), el número de personas que habitan en el

¹⁹Buscando una mejor identificación de la relación de precios cruzados se estimó también un modelo SUR (seemingly unrelated regresión; Zellner, 1962), ya que sería la aproximación más indicada para dicho análisis. Sin embargo los resultados encontrados no fueron convincentes.

hogar tuvo un impacto significativo en la cantidad demandada de energía eléctrica, incrementando cada persona un 7.6% la demanda de electricidad del hogar.²⁰ La tenencia de aparatos también influyó positivamente. Todo lo demás constante, los hogares que tienen un refrigerador consumieron 32.9% más electricidad, los que tienen un computador 19.8%, una lavadora 11.5% y un calefont 6.5%.

La influencia del tamaño de los hogares en el consumo también mostró el signo esperado, siendo que hogares con un dormitorio o baño adicional mostraron un consumo un 6.5% mayor. También impactó del modo esperado la variable dicotómica generada para caracterizar a grosso modo el asilamiento térmico de la vivienda (*matbien*), aunque la magnitud de la influencia fue pequeña (-2.7%).

Si bien fueron pocos los hogares que utilizaron electricidad al interior del hogar para alguna actividad comercial, este aspecto influyó positivamente en su demanda de electricidad, con un consumo un 38% superior a los que no lo hicieron.

En el caso de la dummy de utilización de leña al interior del hogar, el signo encontrado no fue el esperado, ya que en una comparación de medias los hogares que utilizaron leña mostraron un consumo menor de electricidad. Sin embargo, al controlar por los demás factores, los hogares que utilizaron leña consumieron en promedio más electricidad (2.6%). Este signo positivo puede explicarse porque al controlar por más variables (en particular ingresos, ya que la proporción de hogares que utilizó leña es decreciente en el nivel de ingresos) se identificó la disposición a consumir una mayor cantidad de servicios que requieren energía, y de ahí que el consumo de electricidad fuera mayor en los hogares que utilizaron leña que en los que no lo hicieron.

Con respecto a la localización de los hogares, se constata un mayor consumo en los hogares urbanos (3.4%) con relación a los hogares rurales. Asimismo, en todas las dummies regionales el coeficiente tiene signo negativo, lo cual podría ser evidencia de que en la región metropolitana los hogares utilizan en promedio más electricidad que en el resto del país.

Por último, cabe destacar que al utilizar datos de corte transversal se consideró que se estaba estimando una elasticidad asimilable a las de largo plazo (cuando el largo plazo está en torno a un año). Debe tenerse presente que el valor encontrado no es una elasticidad en el sentido estricto, ya que no se observó el comportamiento de las mismas unidades económicas ante cambios en los precios, pero sí se detectó cómo reaccionaron hogares comparables ante diferentes precios de la energía eléctrica. Por lo tanto, no se identificó un proceso de ajuste temporal (donde podría identificarse explícitamente el plazo), sino que se detectó el impacto del precio en las diferencias de consumo en una situación de equilibrio, lo que se interpretó como una elasticidad de largo plazo.

²⁰ En base al modelo con corrección de sesgo de selección. El impacto se calculó como $\Delta x_{i,elect} = 100 \cdot (\exp(\hat{\beta}) - 1)$

6 Conclusiones

Este trabajo caracteriza de una forma más precisa el comportamiento de los consumidores residenciales al momento de demandar energía. Existe consenso, tanto desde la economía como desde otras disciplinas, en que el tema energético tendrá cada vez más relevancia en las sociedades, en particular los temas de eficiencia energética y en particular el manejo de la demanda que es posible realizar. En el mercado chileno en particular, se puede prever que en el corto y mediano plazo existirán períodos con insuficiente oferta de energía eléctrica para satisfacer una demanda creciente. Asimismo, el mercado eléctrico funciona con empresas privadas que operan en un marco regulado por entidades estatales y se asume que cuánto mayor sea el conocimiento del comportamiento de los agentes por parte de las instituciones reguladoras más eficiente podrá ser la política implementada.

En este marco se estimó 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 que los consumidores sí modifican su consumo de electricidad ante distintos niveles de precios. La magnitud de este cambio en la demanda es similar al estimado para el largo plazo por Benavente et al (2005b) y al planteado para California por Reiss y White (2005), ya que ambos trabajos propusieron una elasticidad precio de -0.39 para el consumo residencial, mientras que la identificada en este trabajo se ubicó entre -0.38 y -0.40 , dependiendo de si se evaluó en la media o en la mediana del precio pagado, con un rango de confianza que va entre -0.36 y -0.43 .

Aunque sigue siendo inelástica, en el caso del mercado de energía eléctrica las pequeñas modificaciones de hábitos de los consumidores pueden redundar en cambios de demanda que a nivel agregado sí tienen un impacto relevante. Luego, sí se puede afirmar que los consumidores residenciales en Chile modifican su demanda ante cambio en los precios de la energía eléctrica.

Se pudo identificar también que hay un grado de sustitución entre las alternativas energéticas al interior de los hogares, con una elasticidad cruzada con respecto al precio del gas licuado que va entre 0.14 y 0.16 (dependiendo de si se evalúa en la media o en la mediana), cuyos intervalos de confianza varían a lo más entre 0.09 y 0.21 . Sin embargo, la evidencia no es totalmente concluyente acerca de este rango. Puede concluirse que los hogares ante modificaciones en los precios relativos de las fuentes energéticas cambian su patrón de consumo, pero no está totalmente identificada la magnitud de este cambio.

Algunas limitaciones de este trabajo son importantes de destacar. Si se contara con información del gasto de los hogares en los demás tipos de energía se podrían estimar sistemas de demanda como los propuestos por Deaton y Muellbauer (1980), permitiendo una mejor identificación de la relación de sustitución entre energías al interior de los hogares. Por otro lado, debe tenerse presente que la existencia de horas punta en el consumo residencial puede determinar un comportamiento más inelástico en algunos períodos (tanto a lo largo del día como en distintos meses del año), lo que no se pudo capturar en este análisis de corte transversal.

References

- [1] Acuña, H. (2008): “¿Cambia el consumo eléctrico de los hogares cuando cambia el precio? Sugerencias para el diseño de un subsidio”, Documento No2, Departamento de Estudios División Social, Ministerio de Planificación, Chile.
- [2] Albadi M.H. y El-Saadany, E.F. (2008): “A summary of demand response in electricity markets”, *Electric Power Systems Research*, doi:10.1016/j.epsr.2008.04.002
- [3] Anderson, K. (1973): “Residential Energy Use: An Econometric Analysis”, Rand Corporation (R-1297-NSF)
- [4] Bartels, R. y Fiebig, D. (2000): “Residential End-Use Electricity Demand Results from a Designed Experiment”, *The Energy Journal*, Vol. 21, No.2, pp. 51-81.
- [5] Benavente, J., Galetovic, A., Sanhueza, R. y Serra P. (2005a): “El costo de la falla residencial en Chile: una estimación usando la curva de demanda”, *Revista de Análisis Económico*, Vol. 20(2), pp. 23-40.
- [6] Benavente, J., Galetovic, A., Sanhueza, R. y Serra P. (2005b): “Estimando la demanda residencial por electricidad en Chile: el consumo es sensible al precio”, *Cuadernos de Economía*, Vol. 42, pp. 31-61.
- [7] Berndt, E. y Samaniego, R. (1984): “Residential Electricity Demand in Mexico: A Model Distinguishing Access from Consumption”, *Land Economics*, Vol. 60, No.3, pp. 268-277.
- [8] Chumacero, R., Paredes, R. y Sánchez, M. (2000): “Regulación para Crisis de Abastecimiento: Lecciones del Racionamiento Eléctrico en Chile”, *Cuadernos de Economía*, Vol. 37, pp. 323-338.
- [9] Comisión Nacional de Energía (1986): “Demanda de Electricidad en Chile”, mimeo.
- [10] Comisión Nacional de Energía (2006): “La regulación del segmento distribución en Chile”, Documento de trabajo.
- [11] Dahl, C. (1993): “A Survey of Energy Demand Elasticities in Support of the Development of the NEMS”, Departamento de Energía, Estados Unidos.
- [12] Deaton, A. y Muellbauer, J. (1980): “An Almost Ideal Demand System”, *American Economic Review*, Vol. 70, No. 3, pp. 312-326.
- [13] Díaz, C., Galetovic, A., Soto, R. (2000) “Anatomía de una crisis eléctrica”, *Revista de Análisis Económico*, Vol. 16(1), pp. 3-57
- [14] Díaz, C., Galetovic, A., Soto, R. (2000) “La crisis eléctrica de 1998-1999: causas, consecuencias y lecciones”, *Estudios Públicos*, Vol. 80, pp. 149-192.

- [15] Dubin, A. y McFadden D. (1984): “An Econometric Analysis of Residential Electric Appliance Holdings and Consumption”, *Econometrica*, Vol. 52, No. 2, pp. 345-362.
- [16] Fernández, L. (2006): “Análisis microeconómico de la demanda eléctrica residencial de corto plazo en España”, Universitat de Barcelona, Working Paper 2006 – 014, Asociación Española para la Economía Energética.
- [17] Filippini, M. y Pachauri, S. (2002): “Elasticities of Electricity Demand in Urban Indian Households”, Working Paper No.16, Centre for Energy Policy and Economics, Swiss Federal Institutes of Technology.
- [18] Fisher, F.M. y Kaysen, C. (1962): **A Study in Econometrics: The Demand for Electricity in the United States**, Amsterdam: North Holland Publishing Co.
- [19] Galetovic, A., Inostroza, J.R. y Muñoz, C. (2004): “Gas y electricidad: qué hacer ahora?”, *Estudios Públicos*, 96, pp. 49 – 106.
- [20] 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*, Vol.22, No.4, pp.355-366.
- [21] Halvorsen, B. y Larsen, B. (2001): “The flexibility of household electricity demand over time”, *Resource and Energy Economics*, No 23, pp. 1-18.
- [22] Halvorsen, B., Larsen, B. y Nesbakken, R. (2003): “Possibility for hedging from price increases in residential energy demand” Discussion Paper No 347, Statistics Norway, Research Department.
- [23] Houthakker, H. (1951): “Some Calculations of Electricity Consumption in Great Britain”, *Journal of the Royal Statistical Society (A)*, Vol 114, Part III, pp. 351-371.
- [24] MIDEPLAN, División Social, CASEN en www.mideplan.cl/casen
- [25] Parti, M. y Parti, C. (1980): “The Total and Appliance-Specific Conditional Demand for Electricity in the Household Sector”, *Bell Journal of Economics*, Vol. 11, No. 1, pp. 309-321.
- [26] Reiss, P. y White, M. (2005): “Household Electricity Demand, Revisited”, *Review of Economic Studies*, Vol. 72, pp. 853-883.
- [27] Serra, P. (2002): “Regulación del sector eléctrico chileno”, *Perspectivas*, Vol. 6, No 1, pp. 11-43.
- [28] Sweeney, J. (1984): “The Response of Energy Demand to Higher Prices: What Have We Learned”, *American Economic Review*, Vol. 74, No. 2, pp. 31-37.

- [29] Taylor, L. (1975): “The Demand for Electricity: A Survey”, *Bell Journal of Economics and Management Science*, Vol. 6, N° 1, pp.74-110.
- [30] Taylor, L. (1977): “The Demand for Energy: A Survey of Price and Income Elasticities”, en Nordhaus, W. (editor) **International Studies of the Demand for Energy**, North Holland, Amsterdam.
- [31] Wills, J. (1981): “Residential demand for electricity”, *Energy Economics*, Vol. 3, No. 4, pp. 249-255.
- [32] Yoo, S-H., Lee J.L., Kwak, S-J. (2007): “Estimation of residential electricity demand function in Seoul by correction for sample selection bias”, *Energy Policy*, N° 35, pp.5702-5707.
- [33] Zarnikau, J. (2003): “Functional forms in energy demand modeling”, *Energy Economics*, Vol. 25 pp. 603–613.
- [34] Zellner, A. (1962): “An efficient method of estimating seemingly unrelated regression and tests for aggregation bias”, *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 57, pp. 348–368.