

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA ECONÓMICAS, A. C.



Determinantes de consumo eficiente de energía eléctrica en el sector  
residencial en México: Un enfoque de regresión cuantílica

## **T E S I N A**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN ECONOMÍA AMBIENTAL

PRESENTA  
ALDO GUTIÉRREZ MENDIETA

DIRECTOR DE LA TESINA  
DR. PEDRO IGNACIO HANCEVIC

AGUASCALIENTES, AGS.

MAYO 2016

## **Agradecimientos**

Este trabajo no podría haber sido realizado de no ser por el gran apoyo que recibí de mucha gente durante estos dos años de maestría. La lista de personas es muy larga y a todas ellas quiero agradecerles su amistad, ánimo y compañía.

A mis padres, Rafael y Mónica, por haber sido mi pilar y soporte durante toda la vida. Absolutamente todo lo que he conseguido y logrado ha sido gracias a ustedes. Soy tremendamente afortunado por tenerlos y los considero la mayor bendición que he tenido. Doy gracias al cariño y amor que me han dado, la educación y valores que me impartieron, y todas las experiencias y lecciones que continúan regalando.

A mis hermanos, Axel, Alexis y Alina, por haberme acompañado y cuidado desde pequeño. Espero que sigamos creciendo juntos, y que cada vez tengamos más anécdotas e historias que contar.

A todos mis tíos, abuelos y primos (tanto políticos, de sangre y adoptados) quienes afortunadamente son muchos y sé que siempre me estuvieron apoyando a la distancia. Este logro va para ustedes y espero seguir cosechando triunfos para poder compartirlos con todos ustedes.

A mis compañeros de guerra, Álex y Claudio, por estar a mi lado durante estos dos años de esfuerzo, estudio y desvelos. Alguna vez alguien me reclamó por llevarme a lo mejor del CIDE a Aguascalientes y quiero que sepan que tenía toda la razón. No sé qué habría sido de mí, o de mi cordura, sin ustedes dos. Agradezco profundamente haberlos conocido y espero tener el honor de que sigan siendo mis amigos toda la vida.

Al Dr. Pedro Hancevic por su guía, asesoría y apoyo para poder hacer este trabajo.

Al Dr. Juan Rosellón por sus comentarios y observaciones que enriquecieron este trabajo.

Al Dr. David Juárez por su apoyo para terminar en tiempo este trabajo, pero principalmente por guiarme cuando estaba perdido y ayudarme a encontrar el camino.

A todos mis profesores y compañeros del CIDE, ya que su conocimiento, enseñanzas, esfuerzo y dedicación fueron claves para que pudiera elaborar este trabajo.

A Mauricio, Andrés, Gabriel, Fernando S., Raúl R., Juan, Andrea, Diana y Alexis B. por brindarme su amistad, estar siempre conmigo, aguantar mis bromas, y sonreír aunque no entiendan nada de lo que estoy hablando.

A Raúl, Karla, Cynthia y Fernando L. por estar conmigo desde el día 1 de mi vida profesional y continuar hasta estos días.

A Miguel y Deb por adoptarme en esas noches en las que no quería trabajar, y aceptar muy amablemente las recomendaciones de ponernos a jugar videojuegos.

A Rafael D. por todos sus consejos, palabras y amistad en estos dos años. A Dana por nunca dejar que me rindiera y presionarme hasta acabar todos mis trabajos. A Rut, Anna, Rodrigo y Vizuet por hacerme sentir bienvenido desde el primer día que llegué a Aguascalientes.

A Sam, Isidro, Zak, Grub y demás miembros de la liga de fantasy football por permitirme compartir con ustedes mi pasión por los deportes, pero sobre todo por ser una gran fuente de entretenimiento y distracción.

A Cecilia por todas esas muestras de cariño y apoyo que me dio, por todos los mensajes que me permitió escribir en esas madrugadas cuando sentía que ya no podía más, pero especialmente por esta amistad que va a durar muchos años más.

A Lobo, Ruperto y compañía porque con ellos la vida es simple y sencillamente más fácil.

## Resumen

La eficiencia energética ha sido considerada por la OCDE y Agencia Internacional de Energía como un enfoque efectivo y de bajo costo para lidiar con los desafíos energéticos y problemas de cambio climático a los que se enfrentará el mundo en el siglo XXI. Concretamente, en México se han impulsado acciones para reducir el consumo de energía eléctrica en el sector residencial, ya que durante los últimos diez años ha representado el 25% de la energía consumida anualmente. Sin embargo, los resultados de estos programas han sido mixtos. Ante esta situación, es relevante cuestionarse qué características tienen los hogares que facilitan que esta clase de programas alcancen sus metas

A partir del método de regresión cuantílica, este estudio busca encontrar cuáles son los determinantes socioeconómicos, geográficos y demográficos que propician un consumo ineficiente de energía eléctrica en los hogares en México. Se utiliza esta técnica debido a que un análisis que se realice bajo un esquema de regresión lineal no capturará correctamente las diferencias en los parámetros de un hogar con consumo elevado de electricidad de uno con consumo eficiente. Por lo tanto se requiere una forma de averiguar si cada una de las variables consideradas tiene un efecto distinto a lo largo de la distribución del consumo.

Este trabajo tiene como objetivo identificar tres cuestiones: 1) a qué grupos de la población deben dirigirse los programas de eficiencia energética; 2) si existe alguna región en el país donde los beneficios potenciales sean mayores y; 3) qué aparatos electrodomésticos tienen un mayor impacto en el consumo de los hogares. Los resultados sugieren que, dada la estructura actual de precios y subsidios en México, los cambios de temperatura y el uso de aire acondicionado son los factores que más impactan en el consumo residencial de electricidad.

# Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 Contexto sobre la eficiencia energética en México y en países en desarrollo .....	2
1.2 Barreras para la eficiencia energética en los hogares .....	3
1.3 Revisión de literatura .....	4
<b>2. Especificación del modelo</b>	<b>6</b>
2.1 Metodología .....	7
2.2 Estimación del modelo: regresión cuantílica .....	8
<b>3. Presentación de Datos</b>	<b>10</b>
3.1 Variable dependiente.....	11
3.2 Variables independientes.....	13
3.3 Exclusión del precio como variable independiente.....	20
<b>4. Resultados</b>	<b>22</b>
4.1 Variables climáticas .....	23
4.2 Variables socioeconómicas .....	25
4.3 Características del hogar y de los habitantes.....	27
4.4 Características de los aparatos electrodomésticos.....	29
4.5 Regiones geográficas.....	32
4.6 Tamaño de la localidad .....	34
<b>5. Caso comparativo</b>	<b>36</b>
<b>6. Conclusiones</b>	<b>38</b>
<b>Referencias</b>	<b>40</b>
<b>Anexo I: Estructura tarifaria de CFE para el sector residencial</b>	<b>44</b>

## Lista de abreviaturas

- CFE: Comisión Federal de Electricidad
- CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono
- CONAGUA: Comisión Nacional del Agua
- CONUEE: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
- DAC: Tarifa doméstica de alto consumo
- ENCC: Estrategia Nacional de Cambio Climático
- ENIGH: Encuesta Nacional de Ingreso y Gasto de los Hogares
- ENUT: Encuesta Nacional sobre el Uso del Tiempo
- GEI: Gases de efecto invernadero
- GWh: Gigawatts-hora
- IEA: Agencia Internacional de Energía
- INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía
- IVA: Impuesto al Valor Agregado
- kWh: Kilowatts-hora
- MW: Megawatts
- OCDE: Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos
- PECC: Programa Especial de Cambio Climático
- SENER: Secretaría de Energía

# 1. Introducción

Instituciones internacionales, como la OCDE y la Agencia Internacional de Energía, sugieren que el uso eficiente de la energía es la mejor manera para “mantener la demanda energética bajo control y facilitar la transición hacia una economía más limpia y con menos emisiones de carbono” (Ramos, A., et al, 2015). Además, varios estudios (Qiu, Y., Colson, G., Grebitus, C., 2014; Arimura, T., Li, S., Newell, R., Palmer, K., 2012; Nejat, P., et al 2015) sugieren que la eficiencia energética es el enfoque más efectivo y con menor costo que se puede adoptar para lidiar con los desafíos energéticos y problemas de cambio climático a los que se enfrentará el mundo en el siglo XXI. En particular, este consenso se extiende aún más si se considera el papel fundamental que el sector residencial representa dado que, de todos los sectores económicos, es el que posee un potencial más elevado de mitigación de emisiones de CO<sub>2</sub>. Por ejemplo, Ramos, et al (2015), explica que los edificios residenciales consumen una tercera parte de la energía final en el mundo. Además, en lugares como en la Unión Europea, éstos son responsables del 36% de emisiones de GEI.

Concretamente, en México se han impulsado acciones para reducir el consumo de energía eléctrica en el sector residencial, ya que durante los últimos diez años ha representado el 25% de la energía consumida anualmente y el número de usuarios ha crecido a una tasa anual media del 5.8% (superior a la tasa de crecimiento poblacional). Diversos estudios<sup>1</sup> señalan que los programas de eficiencia energética en los hogares representan una gran oportunidad debido a su bajo costo y al gran potencial que tienen para reducir el consumo de electricidad y las emisiones de GEI. Sin embargo, la evidencia en México ha sido mixta. Por un lado, las normas de eficiencia energética han logrado un ahorro estimado de energía eléctrica anual de 11,798 GWh (CONUEE, 2013); sin embargo, los programas de sustitución de equipos electrodomésticos han resultado muy caros y, en el caso de los aires acondicionados, contraproducentes ya que incentivaron el aumento en el consumo de electricidad. (Davis, L., Fuchs, A., Gertler, P., 2014)

---

<sup>1</sup> OCDE (2003), IEA (2013), European Commission (2011)

Ante esta situación, es relevante cuestionarse qué características facilitan que esta clase de programas alcancen sus metas. Por tal motivo, el presente trabajo tiene como objetivo encontrar cuáles son los determinantes socioeconómicos, geográficos y demográficos que propician un consumo ineficiente de energía eléctrica en los hogares en México. A partir de este análisis, se podrán conocer mejor tres cuestiones: 1) a qué grupos de la población deben dirigirse los programas de eficiencia energética; 2) si existe alguna región en el país donde los beneficios potenciales sean mayores y; 3) qué aparatos electrodomésticos tienen un mayor impacto en el consumo de los hogares. Los resultados de este trabajo sugieren que, dada la estructura actual de precios y subsidios en México, los cambios de temperatura y el uso de aire acondicionado son los factores que más impactan en el consumo residencial de electricidad.

## **1.1 Contexto sobre la eficiencia energética en México y en países en desarrollo**

México es un país relevante de analizar ya que es uno de los países más vulnerables a los efectos del cambio climático debido a sus características y ubicación geográfica (PECC, 2014). Esta situación ha llevado al país a desarrollar e implementar una serie de programas y estrategias que permitan disminuir sus emisiones de GEI<sup>2</sup>. Por lo anterior, el gobierno federal ha fijado metas muy ambiciosas para combatir el cambio climático (ENCC, 2013; Jano-Ito, A., Crawford-Brown, D., 2016). Para el año 2020 se espera tener en marcha un mecanismo que permita reducir aproximadamente 288 megatoneladas de CO<sub>2</sub> anualmente, y que para 2050 el total de emisiones anuales sea de únicamente 320 megatoneladas (equivalente al 50% de los niveles registrados en el año 2000). Además, Rosas-Flores, et al (2011) han estimado que los ahorros de energía alcanzarán los 22,605 GWh en 2021 si se continua incentivando y promoviendo la eficiencia energética en los hogares mexicanos. Este impacto es equivalente a decir que México podría reducir su capacidad de generación en 5,650 MW y dejaría de utilizar más de 40 mil millones de barriles de petróleo.

Si bien estos impactos ambientales son por sí mismos una razón suficiente para investigar el tema del consumo eficiente de electricidad en el sector residencial mexicano, también existen

---

<sup>2</sup> México contribuyó en 2011 con el 1.4% de las emisiones globales. De acuerdo con estas cifras, México es el décimo segundo país con mayores emisiones en el mundo. (ENCC, 2013)



razones socioeconómicas y de política pública que hacen de éste un caso interesante. Por principio de cuentas, la gran mayoría de los estudios relacionados a la demanda energética residencial están enfocados en países desarrollados, los cuales tienen realidades y circunstancias económicas muy distintas a las que se presentan en México (Galindo, L., 2005). Además, Hancevic y Navajas (2015) mencionan que la literatura acerca de la identificación de ineficiencias energéticas en hogares latinoamericanos es bastante escasa, por lo que cualquier intento por extraer algún resultado sobre patrones de consumo en México contribuirá a comprender mejor las características de toda esta región. Asimismo, México ya ha implementado programas de sustitución de equipos ineficientes por ahorradores de energía (Davis, L., Fuchs, A., Gertler, P., 2014) que si bien no obtuvo los resultados esperados (alcanzó sólo el 25% de sus objetivos y a un costo muy elevado), sí logró motivar a casi 2 millones de familias mexicanas a remplazar refrigeradores y equipos de aire acondicionado obsoletos.

## **1.2 Barreras para la eficiencia energética en los hogares**

A pesar de que la eficiencia energética en el sector residencial tiene un enorme potencial para lograr reducir el consumo eléctrico y ayudar a reducir los problemas ocasionados por el cambio climático, existen aún muchas barreras y fallas de mercado que impiden la obtención de todos los beneficios que su implementación conlleva. Por ejemplo, se ha identificado que los problemas de información son los más relevantes en esta área (Ramos, A., et al, 2015). Jessoe y Rapson (2014) argumentan que muchos modelos sobre ahorro energético residencial se basan en supuestos clave de información perfecta, lo cual no es válido en un contexto residencial. Muchas veces los hogares no tienen la manera de medir su consumo energético e, incluso, se enfrentan a una gran incertidumbre sobre los ahorros que podrían obtener (Wilson, C., et al, 2015). Adicionalmente, la implementación de tarifas no lineales o seccionadas por partes que se da en algunos países como Estados Unidos (Borenstein, S., 2012; Jessoe, K. y Rapson, D., 2014) o México (Jano-Ito, M., y Crawford-Brown, D., 2016) impide que los hogares tomen las decisiones óptimas de consumo puesto que es difícil comprender la información que proporcionan los precios bajo esta clase de esquemas.

Por otra parte, también existen barreras financieras que los hogares deben enfrentar antes de adoptar medidas de eficiencia energética. Usualmente los aparatos que promueven el ahorro en

el consumo de energía suelen ser más caros, por los que se requieren esquemas de incentivos, créditos y subsidios para motivar que los hogares los adquieran (Ramos, A., et al, 2015). Sin embargo, hay estudios que demuestran las limitaciones de este tipo de programas. Qiu, Colson y Grebitus (2014) demuestran que los hogares son aversos al riesgo al momento de tomar este tipo de inversiones, por lo que buscan que alguna institución o especialista les garantice totalmente que su consumo energético disminuirá y que disfrutarán constantemente de estos beneficios.

Por último, los esquemas de subsidios pueden considerarse contraproducentes al objetivo de promover el consumo eficiente de electricidad, ya que “distorsionan las señales de los precios, conducen a una mala asignación sistémica de los recursos, y tienden a ser regresivos” (Fattouh, B. y El-Katiri, L., 2013). En particular, Reza (2014) señala que si el precio de la electricidad está subsidiado, es altamente probable que el consumo residencial no sea socialmente óptimo y existan diversos impactos ambientales. Para el caso concreto de México, López-Calva y Rosellón (2002) argumentan que las ineficiencias en el consumo se agravan debido a que la lógica detrás de los subsidios no tiene ninguna base distributiva, sino que están determinados por la temperatura promedio en el lugar. Esta estructura de subsidios genera varias distorsiones, además de un uso ineficiente de la energía porque los precios no reflejan ni varían de acuerdo su costo económico. Para eliminar este tipo de ineficiencias, Liu y Li (2011) argumentan que la reforma de subsidios sería una manera eficaz de mejorar la estructura de consumo de energía. Sin embargo, diversos estudios (Fattouh, B. y El-Katiri, L., 2013; Elshennawy, A., 2014; Plante, M., 2014; Moshiri, S., 2015) plantean que la reducción o eliminación de los subsidios podrían traer graves consecuencias económicas, particularmente para los hogares más pobres. Por lo tanto, es necesario encontrar medidas que no consideren a los precios para aumentar la eficiencia energética.

### **1.3 Revisión de literatura**

Debido a las barreras existentes para promover el uso eficiente de la energía en el sector residencial, es necesario comprender qué variables influyen en la demanda de electricidad. Para hacer esta estimación, “la literatura económica ha favorecido el uso de un enfoque

econométrico” (Auffhammer, M. y Aroonruengsawat, A., 2011). En particular, se han utilizado modelos lineales, semi-log y log-log para identificar elasticidades (Jessoe, K., y Rapson D., 2014; y Galindo, L., 2005), modelos de estimadores de panel dinámico con diferencias para identificar rezagos en la obtención de información por parte de los consumidores (Romero-Jordán, D., Peñasco, C., del Río, P., 2014), modelos de análisis de factores para evitar problemas de multicolinealidad por factores de conducta y características socioeconómicas que se encuentren fuertemente correlacionados (Kavousian, A., Rajagopal, R., Fischer, M., 2013), modelos de regresión cuantílica con los que pueden identificar efectos diferenciados de las variables independientes sobre toda la distribución y no sólo sobre la media (Hancevic, P. y Navajas, F., 2015), así como modelos de respuesta binaria (Qiu, Y., Colson, G., Grebitus, C., 2014) que permiten identificar los coeficientes relativos de aversión al riesgo de los hogares para hacer inversiones en sus viviendas.

Este trabajo busca contribuir al desarrollo de conocimiento sobre el consumo energético de los hogares, principalmente en la región América Latina donde, como ya se expuso, existe una escasez de trabajos al respecto. Para tal fin, se utilizará un análisis mediante el uso de regresión cuantílica el cual ya ha sido utilizado para identificar determinantes de consumo de energía eléctrica en Taiwán (Huang, W., 2015), Argentina (Hancevic, P. y Navajas, F., 2015), China (Han, L., Xu, X. y Han, L., 2015; Niu, S., et al, 2016), Estados Unidos (Kaza, N., 2010), España (Medina, E. y Vicéns, J., 2011), entre otros países. La motivación principal para utilizar esta técnica es que permite identificar qué características tienen los hogares que más consumen energía. Por lo tanto, el presente trabajo emplea un modelo que incorpora categorías socioeconómicas, climáticas y regionales, las cuales ya han sido incluidas en otras investigaciones, y se busca evidencia de que también sean relevantes para el caso mexicano.

El documento está estructurado de la siguiente manera: La sección 2 presenta el modelo con el que se trabajará, la metodología, así como la explicación de cómo se lleva a cabo la estimación por el método de la regresión cuantílica. La sección 3 describe las categorías del modelo, así como los datos que se utilizarán. La sección 4 presenta los resultados de la estimación empírica. La sección 5 expone un análisis de caso donde se compara cómo evoluciona el consumo de un hogar prototipo, dependiendo de si pertenece a un cuantil de consumo bajo, mediano o elevado. Por último, la sección 6 concluye.

## 2. Especificación del modelo

Diversos autores han propuesto distintas variables que los modelos econométricos para la estimación de la demanda energética deben considerar. Por un lado, Haas (1997) y Kavousian, et al (2013) utilizan cuatro categorías de determinantes importantes que son: a) clima y localidad de la residencia; b) características físicas de la vivienda; c) cantidad y tipo de dispositivos electrodomésticos; y d) actitudes y conductas de los residentes sobre el consumo energético en el hogar. Por otra parte, Wilson, et al (2015) considera que también es importante fijarse en las características sociodemográficas de los residentes, identificar si la vivienda es propia o alquilada, qué instrumentos de política pública tienen disponibles los habitantes de una localidad y, de forma novedosa, reconocer cuando ocurre un evento destacado que desencadene una decisión de renovación energética (como cuando se descompone un aparato, el jefe de familia se retira, se tiene un nuevo hijo o se muda de casa). Además, Ramos, et al (2015) menciona que se deben diferenciar las viviendas nuevas de las ya existentes, así como los edificios netamente residenciales de aquellos que agrupan negocios con residencias.

Las categorías de variables previamente señaladas sirven como referencia para plantear un modelo econométrico que permita identificar los determinantes de consumo eficiente de energía eléctrica de los hogares mexicanos. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que la realidad mexicana puede ser muy diferente a lo observado en otras partes del mundo, por lo que se deberá hacer un análisis exhaustivo sobre la importancia de cada una de estas variables para determinar la demanda de energía eléctrica en el sector residencial.

De acuerdo a los trabajos revisados de Haas (1997), Kavousian, et al (2013), Wilson, C., et al (2015), Ramos, A., et al (2015) y Meier, H. y Rehdanz, K. (2010), podemos especificar una función de demanda residencial de electricidad que tenga la siguiente forma:

$$\ln(Y_i) = \alpha + \beta_p P_i + \beta_{cl} Cl_i + \beta_v V_i + \beta_A A_i + \beta_{SE} SE_i + \beta_R R_i + \beta_{Co} Co_i + u_i \quad (1)$$

donde los componentes de la ecuación son vectores que corresponden a:

- $Y_i$ : el consumo de energía eléctrica de la vivienda;
- $\alpha$ : el intercepto

- $P_i$ : el precio
- $Cl_i$ : las variables relacionadas al clima y temperatura;
- $V_i$ : las características de la vivienda;
- $A_i$ : las características de los aparatos electrodomésticos del hogar;
- $SE_i$ : las características socioeconómicas;
- $R_i$ : la región geográfica de acuerdo a la clasificación de CFE;
- $Co_i$ : las conductas y valuación medioambiental de los hogares; y
- $u_i$ : la variación no explicada por el modelo

El modelo tiene una especificación log-lineal, que viene en línea con los trabajos revisados de Jessoe, K., y Rapson D. (2014) y Galindo, L. (2005) para poder estimar elasticidades y tasas de crecimientos con respecto a las variables independientes. Además, supone que el consumo en energía eléctrica es el resultado de las decisiones provenientes del proceso de minimización de gastos de los hogares, derivados del modelo microeconómico neoclásico estándar de demanda (Meier, H. y Rehdanz, K., 2010).

## **2.1 Metodología**

De acuerdo al trabajo de Kaza (2010), no es posible diseñar una política pública adecuada para fomentar el uso eficiente de la energía si únicamente se consideran los efectos en el promedio de la población. Debido a esa razón, un análisis de determinantes de consumo que se realice bajo un esquema de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) no capturará correctamente las diferencias en los parámetros de un hogar con consumo elevado de electricidad de uno con consumo eficiente (sólo se explicarán los factores correspondientes a un hogar promedio). Así, Medina y Vicéns (2011), Kaza (2010) y Hancevic.y Navajas (2015) proponen el uso del método de regresión cuantílica con el fin de entender si las variables utilizadas en el modelo de demanda residencial de electricidad tienen un efecto distinto a lo largo de la distribución del consumo.

Desde una perspectiva de política pública, los programas diseñados con el objetivo de disminuir el consumo energético, y el impacto ambiental generado a partir de éste, se beneficiarían de análisis realizados con el método de regresión cuantílica ya que “pueden resaltarse las

diferencias en los efectos que se producen en hogares con niveles distintos de consumo” (Han, L., Xu, X., y Han, L., 2015). A partir de esa misma lógica, Huang (2015) encontró que a pesar de que las estrategias de reducción de uso de energía eléctrica deben de concentrarse en aquellos grupos que presenten un consumo más elevado, también se debe poner atención en hogares de bajo ingreso y pocos miembros ya que presentan un mayor consumo de electricidad per cápita. Por lo tanto, es conveniente no considerar a todos los grupos de población como si fueran homogéneos y, en cambio, elaborar políticas diferentes para cada uno de ellos.

Si bien el análisis de regresión cuantílica presenta características que ayudan a entender mejor las dinámicas de consumo de distintos grupos, también resulta ser metodológicamente más conveniente. Esto se debe a que, mientras que los procedimientos de estimación clásicos, como MCO o máxima verosimilitud, requieren que el modelo de regresión lineal, definido por la ecuación:

$$Y_i = x_i + u_i \quad (2)$$

cumpla con supuestos de normalidad y media igual a cero en el término de error ( $u_i$ ), la regresión cuantílica no necesita la imposición de ningún supuesto acerca de la forma en la que éste debe de distribuirse. Esto es importante ya que los trabajos de Koenker y Basset (1978) y Koenker y Hallock (2001) demuestran que ante la presencia de bienes básicos (como energía eléctrica en este caso) la distribución del consumo puede ser asimétrica y difícil de parametrizar.

## 2.2 Estimación del modelo: regresión cuantílica

Una vez identificadas las ventajas de utilizar la regresión cuantílica para la estimación de los determinantes del consumo de electricidad en el sector residencial, es necesario comprender la manera en la cual se llevará a cabo este procedimiento. Por principio de cuentas, se debe definir lo que es un cuantil. De acuerdo a Koenker y Basset (1978) y Wooldridge (2010), podemos definir un cuantil  $\theta$  como:

$$\text{Min}_{b \in \mathbb{R}} \left[ \sum_{Y_i \geq b} \theta |Y_i - b| + \sum_{Y_i < b} (1 - \theta) |Y_i - b| \right] \quad (3)$$

el cual es el valor que minimiza una suma ponderada, donde se ponderará más la parte con menos observaciones. De esta forma, podemos igualmente plantear los cuantiles de  $Y_i$  condicionados a los valores de un conjunto de regresores  $x_i$  (Medina, E., Vicéns, J., 2011). Así, la relación del modelo de regresión lineal definida por la ecuación (2) se puede utilizar en la definición de cuantil dada por la expresión (3) y plantear el modelo de regresión cuantílica de la siguiente manera:

$$\text{Min}_{b \in \mathbb{R}} \left[ \sum_{Y_i \geq b} \theta |Y_i - x_i \beta| + \sum_{Y_i < b} (1 - \theta) |Y_i - x_i \beta| \right] \quad (4)$$

Como se aprecia del modelo planteado en la ecuación (4), la regresión cuantílica es similar a la estimación por MCO. Mientras que la estimación por mínimos cuadrados se hace después de minimizar la suma de los errores al cuadrado, "la regresión cuantílica tiene el objetivo de minimizar una suma de errores absolutos ponderados con pesos asimétricos" (Medina, E., Vicéns, J., 2011). Así, al obtener el valor de los parámetros  $\beta$  que minimizan la ecuación (4), se puede decir que se ha encontrado el efecto de las variables independientes sobre el cuantil  $\theta$  de la distribución de consumo de energía eléctrica de los hogares. A pesar de que no es posible estimar estos resultados de forma analítica como en el caso de los estimadores MCO, "su solución se halla normalmente por métodos de optimización iterativos y/o de programación lineal" (Kaza, N., 2010; Medina, E., Vicéns, J., 2011).

Si bien el modelo propuesto en (1) podría extenderse para utilizar datos longitudinales y considerar variaciones de los parámetros a lo largo del tiempo, esto no se hace debido a dos razones. La primera es que, a pesar de que se ha comprobado que el método de regresión cuantílica puede utilizarse cuando existen efectos fijos en las muestras (Koenker, R., 2004), se necesitan observaciones temporales y de corte seccional demasiado grandes ( $N \rightarrow \infty$ ,  $T \rightarrow \infty$ ) para tener resultados asintóticamente consistentes (Canay, I., 2011). Los datos que se emplean

para estimar el modelo provienen de las ENIGH<sup>3</sup>, las cuales no tienen un horizonte temporal lo suficientemente grande para asegurar que se cuente con estimaciones consistentes.

La segunda razón por la cual se prefiere utilizar un modelo estático se debe a las características de los datos con los que se trabaja. Si bien las ENIGH se han publicado cada dos años desde 1992<sup>4</sup>, los datos que se recogen son de corte seccional. Como no se entrevista a los mismos hogares en cada edición de las ENIGH, no se podría obtener un análisis por efectos fijos. Para evitar este problema, Huang (2015) presenta los resultados del análisis de corte seccional en cada periodo, y analiza cómo fueron cambiando los parámetros a lo largo del tiempo. Sin embargo, una variable de interés para este trabajo es el número de aparatos electrodomésticos adquiridos después de 2012 y 2013<sup>5</sup>. Estos datos vienen únicamente incluidos en la edición de 2014.

Finalmente, es importante destacar que deben analizarse todos los datos de la muestra, y no elegir a un subgrupo de hogares con consumo elevado de electricidad. Si se llegara a utilizar esa estrategia de muestreo, y se estimaran los parámetros mediante la técnica de MCO, entonces se tendría un sesgo de selección (Heckman, J., 1979). La regresión cuantílica evita ese problema al utilizar, en términos de Koenker y Basset (1978), todas las observaciones convenientemente ponderadas.

### **3. Presentación de Datos**

Los datos que se utilizarán en esta investigación provienen de la ENIGH que publica el INEGI cada dos años. En la edición de 2014, se obtuvieron datos de 19,479 hogares a lo largo de la República Mexicana. Aquellos que fueron entrevistados pueden considerarse representativos de los más de 31.6 millones de hogares en el país, gracias al uso de un factor de expansión que es calculado por el mismo INEGI. A partir del uso de la ENIGH se puede obtener información

---

<sup>3</sup> La Primera ENIGH se publicó en 1984. Desde entonces, el INEGI ha presentado 15 diferentes versiones a lo largo de esos años.

<sup>4</sup> Hubo un levantamiento extraordinario en 2005

<sup>5</sup> En 2013, la CONUEE realizó un balance sobre los resultados de las normas de eficiencia energética. Es por eso que se utiliza este año como punto de referencia.



sobre el gasto de los hogares en energía eléctrica, las características de la vivienda y de los aparatos electrodomésticos empleados en el hogar, las conductas y el tiempo que los integrantes de un hogar dedican a ciertas actividades, y la ubicación geográfica dentro del territorio nacional.

Para este trabajo, se consideró únicamente a las 17,152 viviendas que reportaron haber tenido consumo eléctrico positivo.

### 3.1 Variable dependiente

La variable dependiente que se utilizará en este modelo es el consumo de electricidad de los hogares. La ENIGH identifica el gasto trimestral en energía eléctrica a partir del último pago del recibo eléctrico efectuado por el hogar. Como los ciclos de cobro de CFE son bimestrales, se decidió tomar como supuesto que el gasto mensual fue uniforme y, por lo tanto, se multiplicó el gasto identificado por un factor de 2/3. Idealmente, se debería contar con el gasto anual, dividido por los seis pagos bimestrales que cobra CFE. Esto permitiría conocer las variaciones estacionales y comprender cómo es la variación del consumo a lo largo del año. Sin embargo, debido a la manera en la que la ENIGH está construida, no es posible conocer esta información tan detallada.

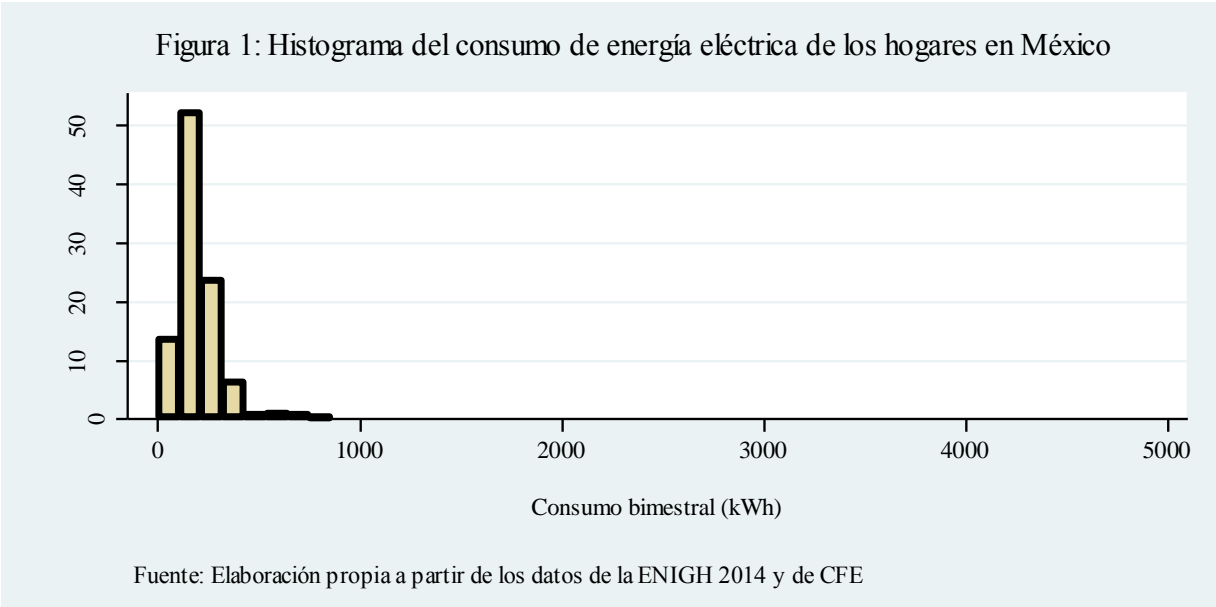
**Tabla 1. Consumo y gasto en electricidad de los hogares en 2014**

Variable	Promedio	Desviación estándar	p5	p10	p25	p50	p75	p90	p95	min	max
Gasto bimestral (\$)	462.86	685.83	60.0	100.0	160.0	270.0	500.0	950.0	1,500.0	2.0	20,000.0
Consumo bimestral (kWh)	210.16	153.18	66.0	93.7	142.2	178.8	244.5	329.4	396.2	2.2	4,512.7

Fuente: Estimación propia a partir de los datos de la ENIGH 2014 y CFE

Adicionalmente, como la ENIGH solamente reporta el gasto de los hogares, y no el consumo medido en kWh, fue necesario identificar el precio marginal<sup>6</sup> que cada hogar debió pagar 2014 (la estructura tarifaria de CFE se presenta en el Anexo I). A partir de esto, fue posible hacer el cálculo para poder recuperar el consumo energético. Además, al gasto se le tuvo que descontar el 16% del recibo de energía eléctrica por concepto del pago de IVA, y el 10% por el cobro del Derecho de Alumbrado Público. Una vez que se tuvo el gasto libre de estos conceptos, se pudo identificar el número de kWh consumidos por cada hogar.

A partir de los datos de la Tabla 1 se puede apreciar que existe una gran variabilidad en el consumo de electricidad de los hogares Mexicanos. A pesar de que se tiene un gasto promedio de \$462.86 al bimestre, alrededor del 75% de los hogares pagan en su recibo esta cantidad, mientras más del 5% tienen un gasto superior a \$1,500. Esta situación tiene como consecuencia que muchos hogares cuenten con un consumo muy elevado que podría considerarse como atípico para la muestra. Por lo tanto, se puede suponer que el consumo de energía eléctrica no se aproxima a una distribución normal. Es así que la estimación del modelo de demanda residencial de energía eléctrica podría brindar resultados sesgados.



<sup>6</sup>CFE tiene una estructura tarifaria dividida por bloques, donde a partir de cada cierta cantidad de kWh consumidos, se cobrará un precio más elevado para los siguientes.

Para confirmar esta suposición, se muestra la Figura 1 que contiene el histograma de los consumos de electricidad de los hogares. Ahí se puede apreciar que el consumo de electricidad tiene un sesgo bastante pronunciado hacia la izquierda. Además, existen diversos hogares que presentan un consumo elevado bastante alejado de la media. Este análisis visual fortalece la propuesta de que el consumo de electricidad no se distribuye de manera normal. Así como en el estudio de Huang (2015), este resultado confirma que el enfoque de regresión cuantílica es apropiado para realizar la estimación de determinantes de consumo de electricidad en el sector residencial de México.

### 3.2 Variables independientes

Como primer paso para entender si un hogar tiene incentivos a moderar y tener un consumo eficiente de electricidad, es importante conocer si sus habitantes son dueños de la vivienda donde habitan. La Tabla 2 nos muestra que más del 60% de la población es dueña de su propia casa y un 10.4% adicional se encuentra pagándola bajo un esquema de hipoteca. Por lo tanto, se esperaría que más de 2/3 partes de la población fueran más susceptibles a participar en esquemas de sustitución de equipos ineficientes y promoción de programas de uso eficiente de la energía, en comparación a aquellas familias que vivan en un hogar rentado o prestado.

**Tabla 2. Propiedad de la vivienda**

<b>Tenencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Propia	61.23
Hipotecada	10.47
Rentada	13.06
Otra	15.24
Total	100

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la ENIGH 2014

Sin embargo, muchas veces no solamente es necesario conocer si un hogar es dueño de la vivienda o no, sino que también es necesario conocer qué aparatos utiliza de manera cotidiana que podrían estar generando ineficiencias en el consumo.. El cuestionario de la ENIGH pregunta

en muchas ocasiones el número de unidades que el hogar posee de cierto aparato electrodoméstico; sin embargo, existen otros equipos (como el aire acondicionado) donde únicamente se señala si cuentan con él o no. Para el primer grupo, se seleccionaron aquellos equipos que podrían tener una incidencia importante en el consumo de electricidad del hogar. Las estadísticas más relevantes de estos aparatos se presentan en la Tabla 3.

Se decidió incluir en el análisis los refrigeradores y las lavadoras porque ambos electrodomésticos ya han sido sujetos de programas de sustitución de equipos. Además, los ventiladores pueden servir como un sustituto imperfecto del uso de aire acondicionado. Adicionalmente, las estufas eléctricas representan un intercambio entre el uso de gas LP o gas natural para cocinar en favor del uso de energía eléctrica, por lo que su uso podría generar un aumento en el uso de la electricidad.

**Tabla 3. Aparatos electrodomésticos (variable continua)**

<b>Variable</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Refrigeradores	0.88	1	0.43	0	30
Lavadoras	0.69	1	0.49	0	7
Ventiladores	0.97	1	1.20	0	13
Estufa eléctrica	0.90	1	0.32	0	4
Focos ahorradores	2.25	1	3.03	0	99
Focos incandescentes	4.67	4	5.28	0	99

Fuente: Estimación propia a partir de los datos de la ENIGH 2014

Finalmente, los focos (tanto incandescentes como ahorradores) han sido objeto igual de campañas de sustitución de equipos, así como de campañas de información en el que se le comunica a los hogares los beneficios de utilizar focos ahorradores y, además, a no dejarlos prendidos mientras no se requieran. Sin embargo, el análisis de consumo de energía de los hogares se podría ver beneficiado si se decide separar aquellos hogares que, en proporción, tengan más focos ahorradores instalados que focos incandescentes. Esta variable, la cual se

denominará “Proporción focos ahorradores” se incluirá en la Tabla 4 junto con los demás equipos en los que sólo se conoce si el hogar los posee o no.

Por otra parte, las variables de temperatura son un indicador de un factor exógeno por el que los hogares se ven obligados a utilizar ciertos tipos de aparatos para asegurar un cierto nivel de bienestar. Por ejemplo, a temperaturas muy elevadas, se debe considerar que el uso de aire acondicionado llevará a que existe un mayor consumo de electricidad, sin que este denote necesariamente una ineficiencia energética. De la misma manera, las temperaturas bajas obligarán a los hogares a mantener prendida la calefacción durante un largo periodo. No sería deseable que los hogares buscaran cambiar su conducta en este entorno debido a que podrían ocasionar daños a su salud o en su desempeño laboral. Para tal motivo, se presenta la Tabla 5 con las temperaturas promedio de los estados para identificar si existe alguno en el que se deba poner especial atención.

**Tabla 4. Porcentaje de hogares con aparatos electrodomésticos  
(variable binaria)**

<b>Variable</b>	<b>Porcentaje de hogares</b>
Proporción focos ahorradores	59.9%
Aire acondicionado	18.5%
Calentador de sol	3.0%
Calentador de gas	39.7%

Fuente: Estimación propia a partir de los datos de la ENIGH 2014

Asimismo, es importante identificar el estado en el que se encuentra cada hogar, así como la temperatura promedio ya que esto es importante para identificar la estructura tarifaria a la que se enfrenta el hogar (la estructura del precio se presenta en el Anexo 1).

**Tabla 5. Variables climáticas por entidad federativa**

<b>Entidad</b>	<b>Temperatura Máxima (°C)</b>	<b>Temperatura Media (°C)</b>	<b>Temperatura Mínima (°C)</b>	<b>Rango de temperatura (°C)</b>
Aguascalientes	26.3	17.9	9.5	16.8
Baja California	28.9	22.3	15.7	13.2
Baja California Sur	31.5	24.7	17.9	13.6
Campeche	33.3	27.4	21.5	11.8
Chiapas	28.9	21.6	14.2	14.7
Chihuahua	32.9	26.9	20.8	12.1
Coahuila	30.4	24.6	18.8	11.6
Colima	27	18.6	10.1	16.9
Distrito Federal	23.8	17.7	11.5	12.3
Durango	27.3	18.5	9.6	17.7
Estado de México	27.1	19	10.9	16.2
Guanajuato	31.5	25.3	19.1	12.4
Guerrero	25.5	18.1	10.7	14.8
Hidalgo	28.3	20.8	13.3	15
Jalisco	21.9	14.6	7.3	14.6
Michoacán	27.2	19.9	12.7	14.5
Morelos	29.5	22.2	14.9	14.6
Nayarit	32.7	26.2	19.7	13
Nuevo León	28.7	21.7	14.7	14
Oaxaca	30.7	24.5	18.3	12.4
Puebla	25.7	18.3	10.9	14.8
Querétaro	26.3	18.9	11.6	14.7
Quintana Roo	32.2	27.3	22.5	9.7
San Luis Potosí	29.3	22.7	16	13.3
Sinaloa	33.7	25.9	18.1	15.6
Sonora	32.3	23.6	15	17.3

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (2016)

**Tabla 5. Variables climáticas por entidad federativa (Continúa)**

<b>Entidad</b>	<b>Temperatura Máxima (°C)</b>	<b>Temperatura Media (°C)</b>	<b>Temperatura Mínima (°C)</b>	<b>Rango de temperatura (°C)</b>
Tabasco	31.5	26.7	21.9	9.6
Tamaulipas	29.7	23.8	17.9	11.8
Tlaxcala	23.7	15.6	7.6	16.1
Veracruz	28.3	22.9	17.5	10.8
Yucatán	32.6	26.6	20.5	12.1
Zacatecas	25.9	17.4	8.9	17

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (2016)

La Tabla 6 nos muestra las características socioeconómicas de los hogares en México. El ingreso servirá para poder estimar la elasticidad ingreso con respecto al consumo energético. Mientras tanto, conocer el número de habitaciones es un buen instrumento para estimar del tamaño del hogar (m<sup>2</sup>), variable que la ENIGH no captura al momento de diseñar sus cuestionarios. El número de habitantes en un hogar servirá para poder estimar el consumo per cápita y ver si éste es distinto a lo largo de la muestra del gasto de electricidad.

**Tabla 6. Características socioeconómicas de los hogares**

<b>Variable</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Habitantes Totales	3.786	1.86	1	17
Habitantes (<11 años)	0.83	1.06	0	13
Habitantes (>65 años)	0.287	0.59	0	4
Ocupados	1.65	1.06	0	9
Habitaciones	3.95	1.58	1	17
Edad del jefe de familia	49.17	15.62	14	97
Ingreso per cápita (bimestral)	9,482.91	16,101.51	130.43	864,220.3

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la ENIGH 2014

La Tabla 7 presenta de qué manera están distribuidos los hogares en México de acuerdo al tamaño de la localidad. La distinción entre hogares urbanos y rurales es importante ya que puede suponerse que los patrones de consumo de energía eléctrica serán distintos entre uno y otro. Además, un tamaño más grande de localidad urbana puede ocasionar que el consumo de electricidad se eleve debido a la posibilidad de contar con un mayor número de servicios, así como una mayor disponibilidad de compra de aparatos electrodomésticos.

Asimismo, es importante fijarse en el tipo de actividades que realizan los integrantes del hogar porque esto podría determinar un consumo distinto de acuerdo a las dinámicas que sucedan dentro de él. La Tabla 8 muestra que más del 50% de los hogares tienen miembros que, en conjunto, trabajan más de 55 horas a la semana. Es posible considerar que estos hogares consuman menos electricidad debido a que uno o más de sus integrantes pasan menos tiempo dentro de él. Por otra parte, puede suponerse que los hogares donde muchos de sus integrantes realicen labores domésticas provoquen un aumento en el consumo.

**Tabla 7. Tamaño de localidad**

<b>Variable</b>	<b>Porcentaje de hogares</b>
Urbano (+100,000 habitantes)	44.3%
Urbano (15,000-99,999 habitantes)	15.2%
Urbano (2,500-14,999 habitantes)	15.6%
Rural	24.9%

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la ENIGH 2014

Sin embargo, estos datos recopilados por INEGI deben tomarse con cautela. Es posible que existe un error de medición en la muestra, ya que en la ENIGH se le pregunta a los hogares cuánto tiempo destinan semanalmente a realizar ciertas actividades. Sin embargo, no es posible identificar si algunas de estas actividades (estudio, recreación, etc.) fueron realizadas dentro del hogar. Otro problema al cual se enfrentan estos datos es que es posible que haya información errónea y/o incompleta. Muchas veces no se sabe con exactitud la cantidad de tiempo que todos los miembros de la familia destinan a ciertas actividades, y menos si quien contestó no pasa la mayor parte de su tiempo en la vivienda. Además, como se incluyen las respuestas de “No



recuerda” y “No lo hizo” para cada una de las preguntas en este apartado de la ENIGH, es posible que esto sesgue la razón de cualquier estimación. Por lo tanto, no se utilizarán estas variables en el modelo estimado.

**Tabla 8. Horas por actividad**

Variable	Media	Mediana	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Trabajo	64.07	55	49.33	0	476
Reparar la vivienda	3.12	0	7.37	0	140
Labores domésticas	34.90	30	25.92	0	246

Fuente: Estimación propia a partir de los datos de la ENIGH 2014

Para mejorar este apartado, se podría utilizar la ENUT que levanta el INEGI, con el fin de investigar más adecuadamente los hábitos y costumbres de los hogares. Con un mejor instrumento de medición, se podría medir de forma más eficaz el impacto en el consumo que existe por cada hora que una persona pasa en el hogar. Además, si se logra identificar el tipo de actividad que realiza, se tendría un estudio mucho más completo.

**Figura 2. Regiones del mercado eléctrico nacional**



Fuente: Prospectiva del Sector Eléctrico 2015-2029. Secretaría de Energía (2015)

Finalmente, la Figura 2 muestra la manera en la cual está seccionado el mercado eléctrico nacional. México está dividido en cinco regiones diferentes, las cuales fueron determinadas por el gobierno mexicano para “comprender el comportamiento regional de los usuarios de energía eléctrica, pues están relacionados con su desarrollo industrial-comercial o sus necesidades climáticas”. (SENER, 2015). La inclusión de estas regiones permitirá controlar el análisis por distintas características<sup>7</sup> que no pueden ser capturadas a partir de los datos de la ENIGH.

### **3.3 Exclusión del precio como variable independiente**

Para poder presentar un modelo de demanda por electricidad completo, es necesario contar con los datos sobre los precios en los que los hogares consumieron cada kWh. En México, las tarifas de electricidad para el sector residencial se determinan por bloques, en el que cada uno asigna un precio mayor a las siguientes unidades de kWh consumidas.<sup>8</sup> Adicionalmente, estos bloques tuvieron modificaciones en 2014 de acuerdo con la temperatura media que experimentó cada estado del país, además de que cada mes hubo incrementos en los cuadros tarifarios. Debido a la variación en tarifas por las temperaturas, en México se utilizaron siete tipos de tarifas eléctricas distintas a lo largo del año. En el Anexo I se muestra la estructura tarifaria para el sector residencial que utilizó CFE durante 2014.

Para simplificar el análisis, se podría suponer que la demanda de los hogares responde únicamente al precio marginal que se enfrentaron. Sin embargo, a partir del análisis de la Figura 3, se puede apreciar que existe poca variabilidad en el precio marginal que cada hogar de la muestra pagó durante 2014, por lo que su inclusión en el modelo daría como resultado una estimación imprecisa. Para evitar esta situación, se puede utilizar el precio medio al que se enfrentaron los hogares. Ito (2014) argumenta que debe utilizarse esta variable debido a que los

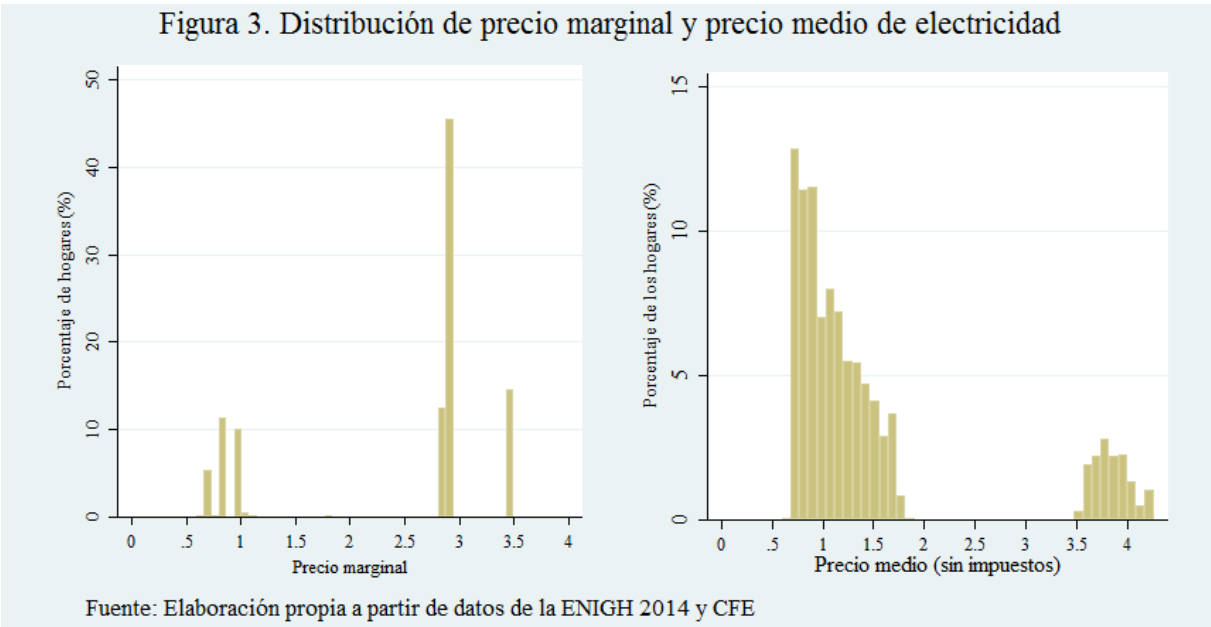
---

<sup>7</sup> Estas características podrían estar relacionadas a la densidad de población, precipitación anual, crecimiento económico regional, o incluso cuestiones culturales.

<sup>8</sup> Esto se debe a que, a medida que un hogar consume más electricidad, el gobierno destina un menor subsidio por cada kWh consumido.

hogares sólo pueden reaccionar ante el precio medio debido a los problemas de información a los que se enfrentan.<sup>9</sup>

Si bien el precio medio presenta una mayor variabilidad en la muestra, los trabajos de Reiss y White (2005) y Fell, Li y Paul (2014) encuentran que existen diversas complicaciones con el uso de los precios provenientes a partir de una estructura de bloques. Por principio de cuentas, el precio se determina de manera endógena al consumo, ya que un mayor uso de kWh por parte del hogar ocasionará que el hogar se enfrente a un precio más elevado. Adicionalmente, estos trabajos encuentran que el uso del precio medio en la estimación induciría un problema de error de medición. Para poder lidiar con estos problemas, ambas investigaciones proponen una estrategia empírica basada en el uso de un modelo de momentos generalizados, el cual queda fuera del alcance del presente trabajo. Debido a la situación antes descrita, se decidió no utilizar el precio con este análisis de regresión cuantílica. Por tal motivo, es importante mencionar que no se obtendrá un modelo de demanda por electricidad, sino únicamente de determinantes de consumo en el sector residencial.



<sup>9</sup> Los hogares no conocen su consumo en tiempo real, por lo que no conocen el precio marginal al que se enfrentan. Además, el recibo de energía eléctrica no se les entrega de manera inmediata, por lo que únicamente pueden reaccionar a las señales de precio con un cierto rezago de tiempo.

La omisión del precio en este análisis propiciará que los estimadores que se obtengan estén sesgados, por lo cual es necesario darles su debida interpretación. Como se mencionó en la primera sección, los subsidios a los precios de la electricidad en México están determinados por la temperatura ambiente promedio en la zona, y no bajo una lógica distributiva (López-Calva, L., Rosellón, J., 2012). Por lo tanto, es posible intuir que los resultados de las variables climáticas, de las regiones geográficas, y de ciertos aparatos electrodomésticos (aires acondicionados y ventiladores) estén distorsionados ante esta situación.<sup>10</sup> Sin embargo, la interpretación de los coeficientes estimados continúa siendo válida si se supone que el “precio no tienen variación ni capacidad discriminante y es un constante en la muestra utilizada” (Medina, E., Vicéns, J., 2011). Por lo tanto, los resultados de este análisis serán válidos siempre y cuando consideremos que los hogares no se enfrentarán a un precio distinto, ni que habrá un cambio en la manera en la que están estructuradas las tarifas eléctricas. De esta forma, sólo se podrán hacer recomendaciones de política que no propongan un cambio en los precios.

## 4. Resultados

Los resultados de la estimación cuantílica y de MCO se presentan en la Tabla 9. Se muestran los estimadores de los cuantiles 5, 10, 25, 50, 75, 90 y 95 con el fin de mostrar cómo varían estos parámetros a través de toda la distribución de consumo eléctrico de los hogares. En particular, se decidió incluir los resultados de los cuantiles 5, 10, 90 y 95 debido a la presencia de muchos hogares con un consumo elevado atípico, y por la concentración de un gran porcentaje de hogares con consumo bajo. Su análisis permitirá entender los cambios de los parámetros que pudieran existir en las colas de la distribución, y cómo se diferencian estos efectos de las partes de consumo mediano. Los estimadores de MCO servirán como referencia para entender qué tanto cambia el resultado de un cuantil con respecto del promedio. Sin embargo, debe considerarse que probablemente estén sesgados debido a la presencia de los valores atípicos de consumo en la muestra.

---

<sup>10</sup> Las regiones más calurosas, como la zona noroeste, son las que más subsidios a la electricidad reciben. Ante tal situación, no es difícil suponer que el uso del aire acondicionado y de ventiladores sea mayor que en otras partes del país.

**Tabla 9. Resultados de la regresión cuantílica y de MCO**

<b>Variables</b>	<b>q05</b>	<b>q10</b>	<b>q25</b>	<b>q50</b>	<b>q75</b>	<b>q90</b>	<b>q95</b>	<b>MCO</b>
log(temperatura)	-7.915***	-9.397***	-12.013***	-12.723***	-13.809***	-14.065***	-15.096***	-11.328***
	(-4.95)	(-3.63)	(-10.55)	(-29.46)	(-27.8)	(-26.17)	(-18.67)	(-6.54)
log(temperatura)^2	1.455***	1.679***	2.090***	2.200***	2.382***	2.410***	2.568***	1.977***
	(-5.63)	(-4.00)	(-11.36)	(-31.57)	(-29.61)	(-27.58)	(-19.49)	(-7.05)
log(ingreso per cápita)	0.073**	0.055***	0.043***	0.048***	0.069***	0.087***	0.096***	0.078***
	(-3.28)	(-4.26)	(-5.18)	(-10.7)	(-10.09)	(-9.85)	(-6.71)	(-9.45)
log(edad)	1.896*	0.811	0.701*	0.375*	0.425+	0.231	-0.322	0.542+
	(-2.12)	(-1.59)	(-2.11)	(-2.1)	(-1.72)	(-0.8)	(-0.73)	(-1.92)
log(edad)^2	-0.256*	-0.112	-0.095*	-0.047+	-0.05	-0.019	0.055	-0.070+
	(-2.13)	(-1.64)	(-2.11)	(-1.96)	(-1.50)	(-0.49)	(-0.93)	(-1.86)
Preparatoria	0.090*	0.046*	0.006	0.005	0.003	0.009	0.007	0.014
	(-2.23)	(-1.97)	(-0.4)	(-0.62)	(-0.27)	(-0.69)	(-0.38)	(-1.23)
Profesional	0.039	0.005	0.001	0.019*	0.044***	0.046**	0.027	0.027+
	(-0.88)	(-0.2)	(-0.05)	(-2.1)	(-3.45)	(-3.02)	(-1.26)	(-1.95)
log(habitaciones)	0.043	0.02	0.055***	0.035***	0.032**	0.038**	0.045*	0.048***
	(-1.35)	(-1.03)	(-4.35)	(-5.15)	(-3.22)	(-3.27)	(-2.54)	(-4.56)
Habitantes	0.058***	0.057***	0.051***	0.044***	0.050***	0.049***	0.050***	0.057***
	(-3.64)	(-6.64)	(-9.29)	(-16.17)	(-13.40)	(-11.55)	(-8.08)	(-12.74)
Menores de 11	-0.040+	-0.045***	-0.033***	-0.024***	-0.020***	-0.008	-0.007	-0.028***
	(-1.9)	(-3.86)	(-4.31)	(-6.28)	(-3.79)	(-1.38)	(-0.8)	(-4.5)

Estadísticos t en paréntesis, +p<0.10 \*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\* p<0.001

Fuente: Estimación propia a partir de los datos de la ENIGH 2014

**Tabla 9. Resultados de la regresión cuantílica y de MCO (Continúa)**

<b>Variabes</b>	<b>q05</b>	<b>q10</b>	<b>q25</b>	<b>q50</b>	<b>q75</b>	<b>q90</b>	<b>q95</b>	<b>MCO</b>
Mayores de 65	0.048	0.013	-0.003	0.006	0.005	0.000	-0.004	0.014
	(-1.47)	(-0.68)	(-0.24)	(-0.92)	(-0.60)	(-0.02)	(-0.25)	(-1.33)
Ocupados	-0.008	-0.013	-0.013*	-0.005	-0.010*	-0.014**	-0.01	-0.013*
	(-0.49)	(-1.4)	(-2.03)	(-1.46)	(-2.14)	(-2.72)	(-1.21)	(-2.42)
Casa propia	0.055+	0.049**	0.023*	0.008	0.006	0.006	0.004	0.013
	(-1.82)	(-2.74)	(-1.97)	(-1.34)	(-0.63)	(-0.59)	(-0.3)	(-1.46)
Proporción focos	0.045	0.053**	0.031*	0.015*	0.006	0.011	0.019	0.025*
	(-1.4)	(-2.73)	(-2.48)	(-2.24)	(-0.67)	(-1.03)	(-1.16)	(-2.45)
Aire acondicionado	0.219***	0.144***	0.133***	0.195***	0.258***	0.421***	0.547***	0.260***
	(-6.28)	(-6.56)	(-9.09)	(-25.26)	(-23.41)	(-30.30)	(-25.76)	(-19.77)
Refrigeradores	0.274***	0.340***	0.304***	0.183***	0.078***	0.055***	0.070**	0.196***
	(-5.60)	(-12.12)	(-19.07)	(-21.74)	(-6.39)	(-3.82)	(-3.11)	(-12.46)
Refrigeradores '12	-0.042	-0.052*	-0.048***	-0.008	0.008	0.019+	0.027+	-0.018+
	(-1.25)	(-2.55)	(-3.76)	(-1.16)	(-0.79)	(-1.68)	(-1.65)	(-1.77)
Lavadoras	0.158***	0.188***	0.082***	0.035***	0.025**	0.014	0.016	0.057***
	(-5.31)	(-10.13)	(-7.11)	(-5.41)	(-2.65)	(-1.29)	(-0.98)	(-5.90)
Lavadoras '13	0.016	0.001	-0.009	0.004	-0.012	-0.012	-0.037+	0.006
	(-0.42)	(-0.03)	(-0.54)	(-0.48)	(-0.99)	(-0.91)	(-1.87)	(-0.47)
Ventiladores	0.025+	0.027***	0.033***	0.031***	0.036***	0.046***	0.052***	0.036***
	(-1.88)	(-3.39)	(-6.42)	(-11.92)	(-9.79)	(-10.74)	(-8.13)	(-8.41)

Estadísticos t en paréntesis, +p<0.10 \*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\* p<0.001

Fuente: Estimación propia a partir de los datos de la ENIGH 2014

**Tabla 9. Resultados de la regresión cuantílica y de MCO (Continúa)**

<b>Variables</b>	<b>q05</b>	<b>q10</b>	<b>q25</b>	<b>q50</b>	<b>q75</b>	<b>q90</b>	<b>q95</b>	<b>MCO</b>
Estufa eléctrica	0.298***	0.224***	0.228***	0.090***	0.051***	0.045**	0.027	0.142***
	(-6.29)	(-7.90)	(-13.72)	(-10.02)	(-3.82)	(-2.86)	(-1.04)	(-8.42)
Noroeste	-0.01	0.024	0.017	0.051***	0.107***	0.208***	0.242***	0.084***
	(-0.16)	(-0.64)	(-0.71)	(-3.98)	(-6.03)	(-9.75)	(-7.31)	(-4.17)
Noreste	-0.114*	-0.045	-0.051*	-0.050***	-0.071***	-0.038*	-0.01	-0.072***
	(-2.24)	(-1.38)	(-2.48)	(-4.63)	(-4.55)	(-2.06)	(-0.38)	(-4.21)
Centro-Occidente	-0.071+	-0.045	-0.061***	-0.052***	-0.040**	-0.019	-0.007	-0.053**
	(-1.73)	(-1.51)	(-3.58)	(-6.10)	(-3.26)	(-1.32)	(-0.34)	(-3.17)
Sur-Sureste	-0.351***	-0.199***	-0.147***	-0.123***	-0.135***	-0.121***	-0.116***	-0.167***
	(-7.03)	(-6.25)	(-7.27)	(-11.41)	(-8.75)	(-6.7)	(-4.46)	(-9.64)
Urbano (+100,000)	0.180***	0.172***	0.097***	0.069***	0.043***	0.037**	0.03	0.081***
	(-5.88)	(-8.74)	(-7.23)	(-9.23)	(-3.98)	(-2.98)	(-1.59)	(-7.24)
Urbano (15,000-99,999)	0.126**	0.174***	0.106***	0.059***	0.038**	0.049***	0.053*	0.075***
	(-3.09)	(-7.17)	(-6.62)	(-6.70)	(-3.04)	(-3.31)	(-2.38)	(-5.43)
Urbano (2,500 - 14,999)	0.159***	0.157***	0.056***	0.031***	0.006	-0.003	0.007	0.047***
	(-4.19)	(-6.74)	(-3.61)	(-3.62)	(-0.51)	(-0.2)	(-0.36)	(-3.75)
Constante	9.783**	14.617***	19.476***	21.659***	23.252***	24.066***	26.747***	18.736***
	(-3.18)	(-3.55)	(-10.41)	(-29.00)	(-26.34)	(-24.03)	(-17.66)	(-6.88)

Estadísticos t en paréntesis, +p<0.10 \*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\* p<0.001

Fuente: Estimación propia a partir de los datos de la ENIGH 2014

Se utiliza como variable dependiente el logaritmo del consumo eléctrico de los hogares. De esta forma, es posible interpretar los valores de los estimadores como las elasticidades o semielasticidades de las variables independientes.

A continuación, se presenta el análisis de los resultados de cada conjunto de variables (tal como se especificó en la sección 2). Para facilitar la comprensión, de la Figura 4 a la 10 se incluyen las gráficas donde se muestra cómo evoluciona, a lo largo de cada cuantil, el parámetro estimado de cada una de las variables explicativas del modelo (línea verde sólida). La zona alrededor del área azul corresponde a los intervalos de confianza al 95% de significancia del estimador de regresión cuantílica. Además, cada gráfica contiene el estimador de MCO y sus intervalos de confianza, también al 95% de significancia, representados por las líneas horizontales con guiones largos y rayas pequeñas, respectivamente.

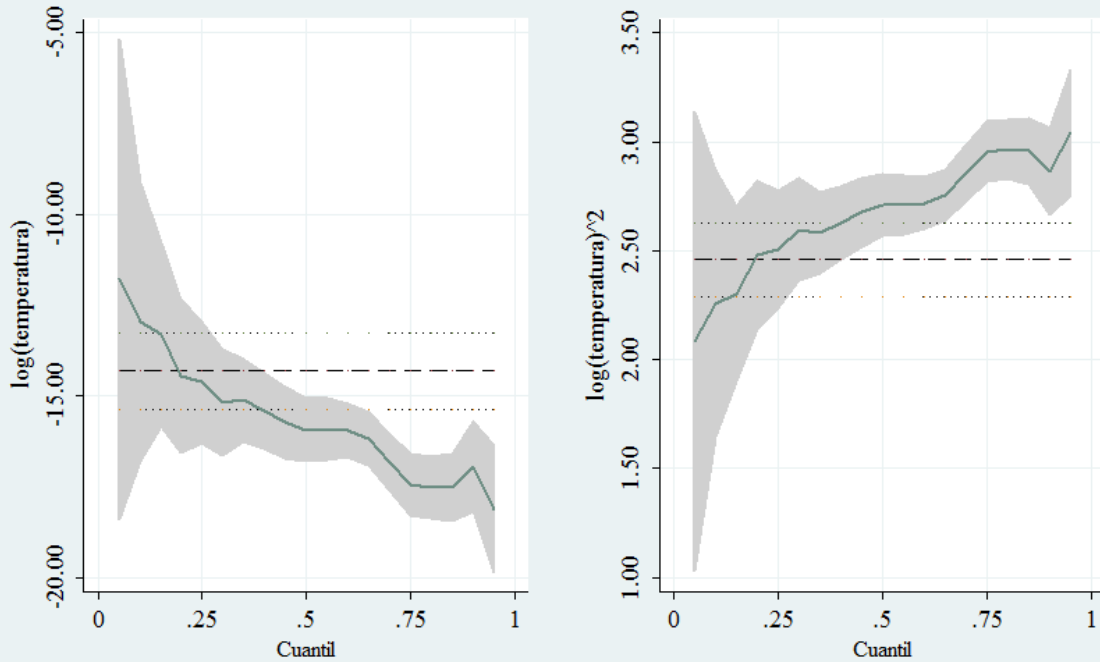
#### **4.1 Variables climáticas**

Para hacer el análisis del impacto del clima en el consumo energético de los hogares, se obtuvo el logaritmo de la temperatura media de cada entidad federativa y cada mes de 2014. Se utilizó una especificación cuadrática debido a que se considera que los hogares utilizan más energía en épocas con temperaturas bajas para calentar sus hogares y con temperaturas altas para enfriarlas. Debido a esto, esta elasticidad variará de acuerdo a la temperatura que se haya experimentado en ese determinado periodo.<sup>11</sup>

De acuerdo a los resultados expuestos en la Figura 4, la elasticidad temperatura resulta ser estadísticamente significativa para todos los cuantiles de consumo de electricidad de la población. Los signos son los esperados, ya que mientras que el componente cuadrático presenta un impacto positivo para toda la muestra, el componente lineal resulta ser negativo para todos los contextos. Con esto se obtiene el resultado esperado a priori: tanto a temperaturas muy bajas como muy elevadas existirá un mayor consumo de electricidad de los hogares.



Figura 4. Impacto en el consumo energético  
Variables climáticas



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la ENIGH 2014

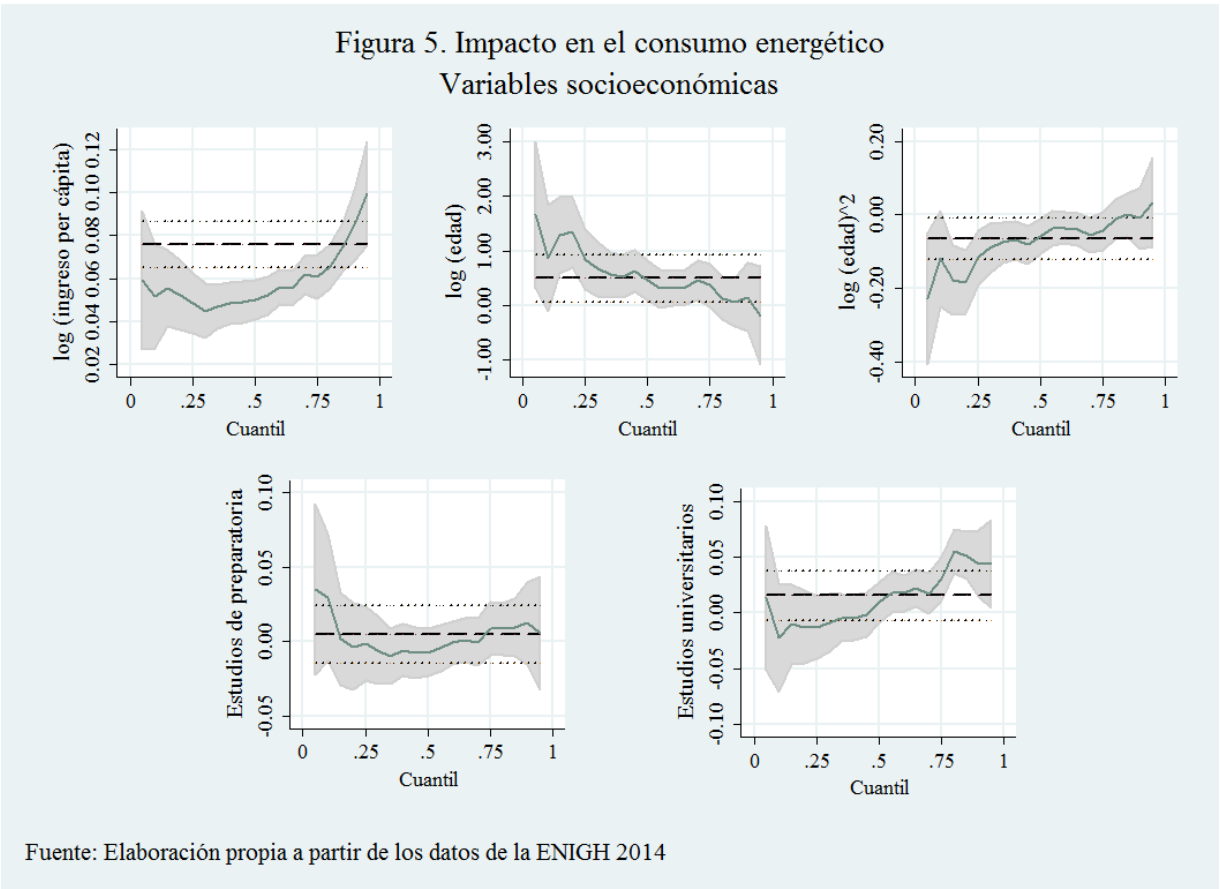
A partir del análisis del estimador del componente cuadrático, se puede apreciar que es creciente para la gran parte de los cuantiles (decae un poco alrededor del cuantil 80 para después volver a crecer después del cuantil 90). Esto quiere decir que a medida que un hogar consume más electricidad se vuelve más sensible a los cambios de temperatura. Por lo tanto, para diseñar una política pública adecuada que busque la reducción del uso de electricidad de los hogares, ésta deberá enfocarse principalmente en aquellas regiones donde se encuentren tanto las temperaturas más bajas, así como las más elevadas.

La comparación de los estimadores cuantílicos con el de MCO permite apreciar que el hogar promedio subestima la sensibilidad a los cambios de temperatura de más del 75% de los hogares. La gran cantidad de hogares con bajo consumo sesga el impacto promedio a la baja y su uso no permitiría observar toda la importancia que se tiene para aquellos hogares con consumo elevado. Por lo tanto, una buena política pública buscará que los hogares con mayor consumo disminuyan la sensibilidad que tienen ante los cambios de temperatura y busque acercarlos al impacto

promedio. Para ello, se podrían proponer programas de aislamiento térmico en los hogares para que mitiguen la sensación cálida en el interior.

### 4.2 Variables socioeconómicas

Este tipo de variables permiten conocer la situación económica de las familias y bajo qué contexto social toman sus decisiones de consumo. Wilson, C., et al (2015) identifica que la edad, género y educación del jefe de familia son características determinantes en este proceso. Adicionalmente, el ingreso familiar es necesario debido a que es el componente principal de la función de gasto bajo la cual está basada el modelo de este trabajo.



La Figura 5 permite apreciar la manera en la que se distribuyen los estimadores de cada una de las variables socioeconómicas seleccionadas. La elasticidad del ingreso presenta un patrón relativamente estable hasta el cuantil 75. Sin embargo, a partir de ahí, ésta comienza a ser

creciente a medida que se evalúa a los hogares con mayor consumo. Este resultado da a entender que aquellos hogares con consumo de electricidad elevado deciden elevar su consumo de manera más sensible que los hogares con consumo mediano. Es decir, un pequeño cambio en el ingreso impacta más a este grupo de hogares que a los demás. Las razones para tomar este tipo de decisión pueden ser muy diversas; aunque puede suponerse que estén sujetas a cuestiones de lujo y comodidad.

A pesar de la trayectoria observada de este estimador, la Tabla 9 permite ver que la variación de la elasticidad ingreso no es muy pronunciada a lo largo de la distribución de consumo de electricidad. Para el cuantil 95 se alcanza el valor máximo de 0.096, el cual no se podría considerar que implique una elasticidad más elevada que la del cuantil 25, que es de 0.043. Estos valores bajos reflejan el hecho de que la energía eléctrica es un bien básico, cuyo consumo es necesario para garantizar el bienestar de los hogares y no influye mucho qué tantos ingresos tengan.

El análisis de la edad del jefe del hogar permite analizar la dinámica del hogar y observar en qué parte del ciclo de la vida se encuentra esa familia en particular. De igual forma en la que se hizo con las variables climáticas, se utilizó una especificación cuadrática para estudiar esta variable<sup>12</sup>. La Tabla 9 indica que, en promedio, la edad no es un factor muy determinante del consumo de energía eléctrica, ya que sólo es significativo al 10% en la media condicional. No obstante, el análisis de la regresión cuantílica refleja que este resultado no es cierto para quienes se encuentran en los cuantiles 5 y 25. En este sector de la población, las familias si adoptan una conducta de menor consumo a medida que el jefe de familia adquiere mayor edad. Esto puede deberse a que los hogares en esta parte de la distribución obtienen hábitos o una cultura del ahorro de energía a lo largo del tiempo. Por lo tanto, este tipo de hogares podrían ser los objetivos de campañas de concientización e información sobre el uso eficiente de la energía en casa.

---

<sup>12</sup> Se considera que a medida que una persona adquiere más experiencia, sus posibilidades de ingreso y consumo mejoran. Sin embargo, estas opciones se van reduciendo a partir de que llega a una edad avanzada.

A pesar de que los efectos del ingreso del hogar y la edad del jefe de familia resultan ser importantes en este contexto, el nivel educativo parece tener un efecto cuando mucho discreto. Si el jefe de familia tuvo acceso a estudios universitarios, los hogares en los cuantiles 50, 75 y 90 presentan un mayor consumo de alrededor del 3% que otros hogares. Si bien Wilson C. et al (2015) encuentra que la educación juega un papel importante para mejorar las conductas y actitudes con respecto al ahorro de energía, la evidencia parece sugerir lo contrario para el caso mexicano.

### **4.3 Características del hogar y de los habitantes**

Como se esperaría a priori, los resultados de la Tabla 9 revelan que el número de habitantes en un hogar impacta de manera positiva en el consumo de electricidad para todos los cuantiles. En particular, los hogares de todos los cuantiles presentan un incremento en el consumo de entre el 4% y 6% por cada integrante adicional. Este resultado no está muy alejado del promedio del 5.7% que se tienen para todos los hogares del país. El hecho de que no hay mucha variación del estimador entre cuantiles permite inferir que existen ciertas actividades en cada hogar que requieren un uso de la electricidad determinado y que no dependen del número de personas habitando la vivienda (calefacción, uso de refrigeradores, uso de aire acondicionado, etc.).

A pesar de estos resultados, no se espera que el consumo de electricidad de una persona adulta sea el mismo que el de un niño. Es por eso que también se controla este modelo por la presencia del número de infantes en el hogar. En promedio, un niño generará un aumento en el consumo de únicamente 3%<sup>13</sup>. Sin embargo, el análisis por cuantiles permite ver que este efecto puede variar un poco. Mientras que para los cuantiles de consumo alto este efecto es imperceptible, aquellos hogares con consumo bajo se ven beneficiados con una ligera disminución en el consumo. Esto puede estar ocasionado por las actividades recreativas de los niños, ya que los menores en un hogar perteneciente a un cuantil alto pueden dedicarse a jugar videojuegos y ver televisión durante toda la tarde, mientras que aquellos en los cuantiles bajos podrían preferir las actividades fuera del hogar.

---

<sup>13</sup> Se debe considerar que un niño es también un integrante adicional en el hogar, por lo que los coeficientes de habitantes y de menores deben sumarse. De esta forma, se llega al resultado aproximado de 0.03.

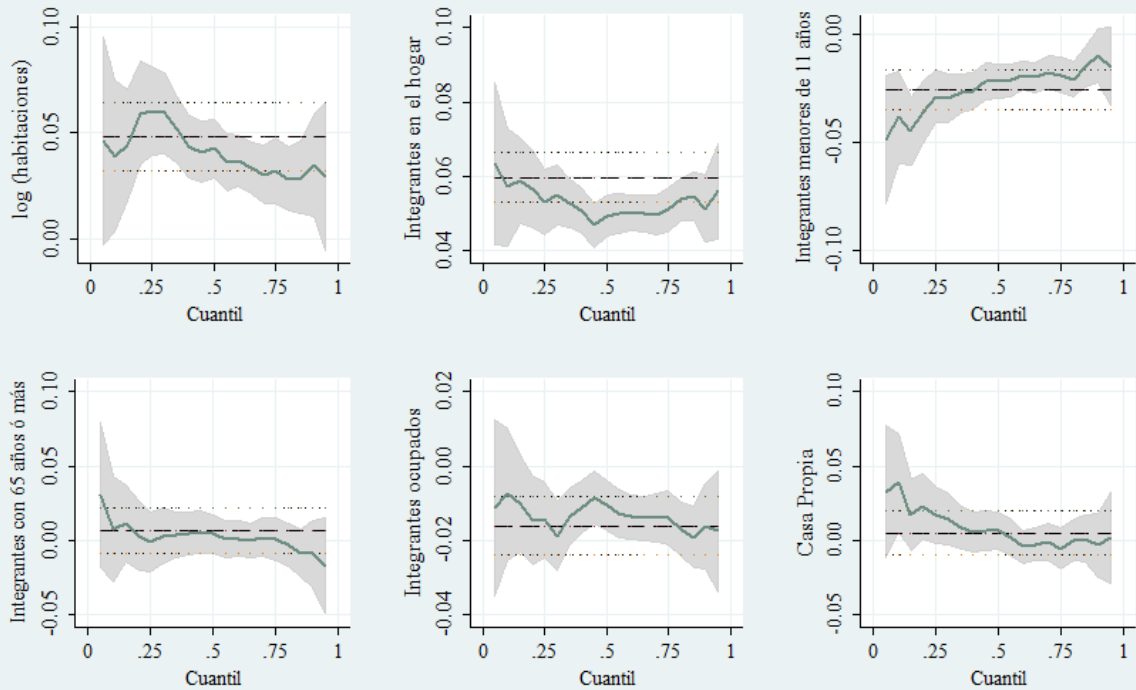
También se incluyó el análisis de personas mayores a 65 años debido a que existe una mayor probabilidad de que pasen más tiempo en el hogar y afecten las decisiones de consumo del hogar. Los resultados de la estimación cuantílica y de MCO mostraron que no hay un efecto incremental en el consumo de electricidad a un nivel de confiabilidad del 5%. Por lo tanto, se puede suponer que la edad de los integrantes adultos no es un factor determinante en el consumo.

Por otro lado, se podría suponer que aquellos hogares que cuenten con integrantes que laboran fuera de él tengan un menor consumo de electricidad. El análisis por MCO confirma que un integrante ocupado provocará un aumento en el consumo menor al 2% menor comparado con un miembro que no cuente con un empleo. Esta situación es principalmente importante para aquellos hogares que se encuentran en las partes medianas de la distribución. Esto puede deberse a que en las colas de la distribución existen conductas y patrones predeterminados de consumo ajenos a la presencia de todos los miembros en el hogar. De esta forma, se tiene como resultado que se pueden impulsar campañas que promuevan actividades fuera del hogar para este grupo de familias con el fin de buscar disminuir su consumo eléctrico.

En cuanto a las características del hogar, se buscó determinar si el tamaño y la propiedad de la vivienda son factores que influyan en el consumo. La Figura 6 demuestra no existe un efecto significativo de la propiedad del hogar en la media condicional por lo que se podría afirmar que tanto inquilinos como propietarios poseen las mismas características y actitudes con respecto al consumo de electricidad en el hogar. Sin embargo, este resultado no se sostiene para los cuantiles de consumo bajo. Aquí, los dueños de su hogar tienen un consumo más elevado. Esto puede deberse a que estas personas tengan una vivienda mejor equipada, en comparación con un hogar que rente. La presencia de un mayor número de aparatos electrodomésticos permitiría explicar esta diferencia en el consumo.

Asimismo, el tamaño de la vivienda también tiene un efecto significativo en el consumo de electricidad. No obstante, las elasticidades obtenidas son muy baja con respecto al número de habitaciones y, a medida que un hogar se clasifica como de bajo consumo, pasa a ser considerado como totalmente inelástico en esta categoría. De esta forma, se concluye que el tamaño de una vivienda no es un factor muy relevante en el que las políticas de ahorro de energía deban de poner demasiada atención.

Figura 6. Impacto en el consumo energético  
Características del hogar y de sus habitantes



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la ENIGH 2014

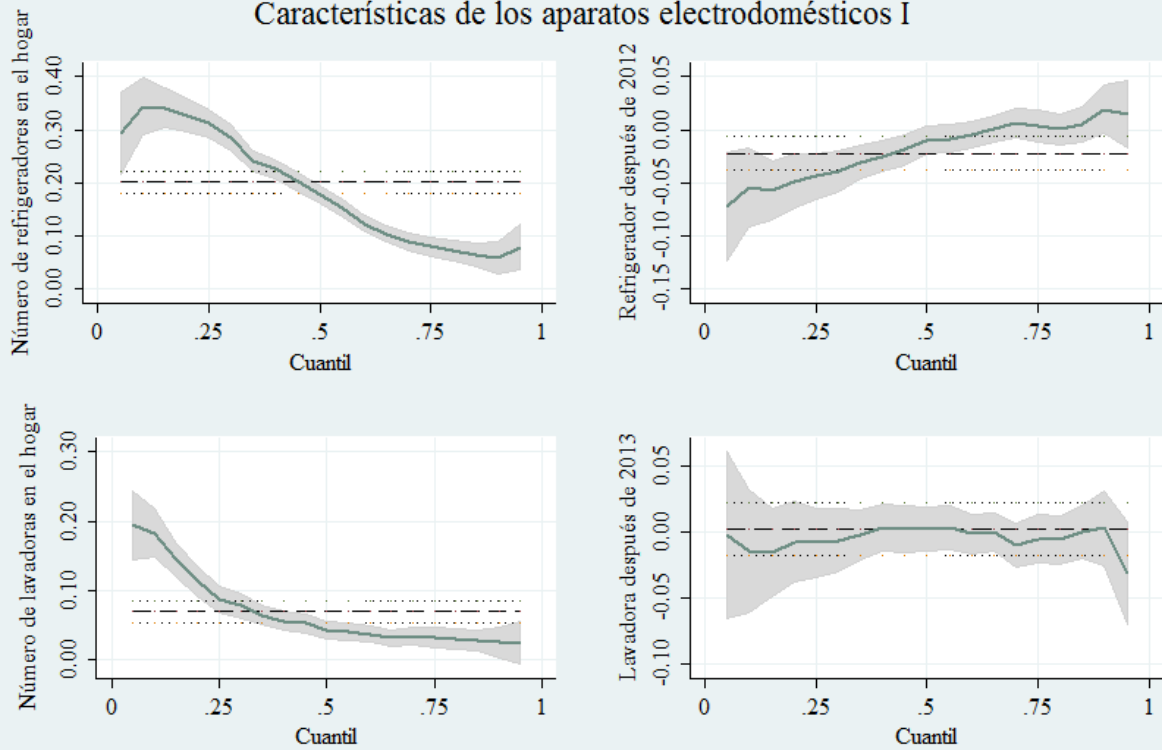
#### 4.4 Características de los aparatos electrodomésticos

Para simplificar los resultados de este apartado, se separan en dos figuras diferentes. La Figura 7 contiene los estimadores de aquellos aparatos de los que se conoce el número de unidades que cada hogar posee, y que además han sido sujetos a una norma de eficiencia energética.<sup>14</sup> En cambio, la Figura 8 muestra el impacto de los aparatos restantes.

Tanto el número de unidades de refrigeradores, lavadoras y ventiladores resultaron tener un impacto significativo en el consumo de electricidad de los hogares. En promedio, un refrigerador elevará el consumo del hogar 20%, una lavadora, 6%, y un ventilador, 3%. Sin embargo, el análisis por cuantiles revela que cada uno de estos aparatos representa un impacto diferente para distintos grupos de la población.

<sup>14</sup> La norma de eficiencia energética de refrigeradores entró en vigor en 2012, mientras que la de lavadores en 2013.

Figura 7. Impactos en el consumo energético  
Características de los aparatos electrodomésticos I



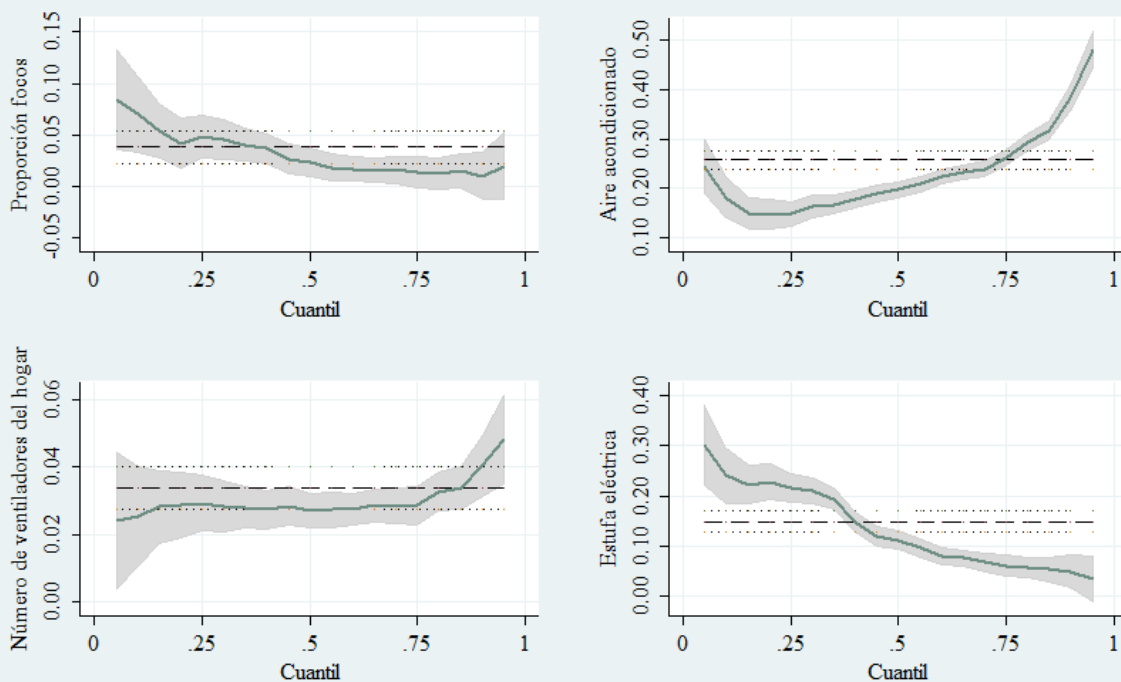
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la ENIGH 2014

Para hogares en los cuantiles bajo, el uso de refrigeradores y lavadoras resulta más preponderante, ya que una unidad adicional de estos aparatos puede llegar a representar un incremento en el consumo de entre el 31% y el 17%, respectivamente. En ambos casos, a medida de que un hogar consume más electricidad, y se desplaza hacia otro cuantil, el impacto de estos aparatos resulta ser cada vez menor. Incluso, los hogares de los cuantiles altos se ven afectados en menor proporción que la media de la población.

Caso contrario es el que se encuentra con los ventiladores. Para los hogares de bajo consumo, este aparato electrodoméstico resulta tener un impacto muy bajo, y va creciendo a medida que se analizan cuantiles más elevados. Si bien el efecto del ventilador es relativamente pequeño (3.6% para el hogar promedio y 5% para los cuantiles de consumo alto), su análisis no debe de despreciarse ya que puede utilizarse como sustituto de un aire acondicionado.

Las variables Refrigeradores'12 y Lavadoras'13 representan el número de unidades que los hogares adquirieron después de que se promulgara cada una de las normas de eficiencia energética de estos aparatos, respectivamente. El estimador de estas variables permite evaluar si los objetivos de reducción de consumo de energía de estas normas ha sido alcanzado o no. Si únicamente se analizara el estimador de MCO, se podría argumentar que la compra de un refrigerador nuevo ayuda a que el consumo crezca en menor medida, mientras que el efecto de una lavadora nueva no es diferente a la de una comprada en una fecha anterior. No obstante, estos resultados no se mantienen si se analiza a los hogares con consumo elevado. Un refrigerador nuevo provocará que exista un aumento en el consumo del 3%, y una lavadora nueva disminuirá el consumo en un 4%. Por otra parte, los hogares con consumo bajo sí han visto reducciones en el consumo promovidos por la compra de un refrigerador nuevo. Entonces, no es posible concluir si se han cumplido las metas de estas normas de eficiencia, ya que sus impactos en la población han sido mixtos.

Figura 8. Impacto en el consumo energético  
Características de los aparatos electrodomésticos II



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la ENIGH 2014



Por otro lado, los hogares de consumo elevado que cuentan con una mayor proporción de focos ahorradores parecen no tener un patrón de consumo distinto de aquellos que utilizan focos incandescentes. Si bien el estimador de MCO es significativo al 5%, al analizar este caso cuantil por cuantil, este efecto se mantiene sólo para los hogares en los cuantiles de consumo bajo. De esta forma, se puede asegurar que los hogares mexicanos no consiguen un consumo de electricidad más eficiente a partir de la mezcla de focos que utilizan en su vivienda.

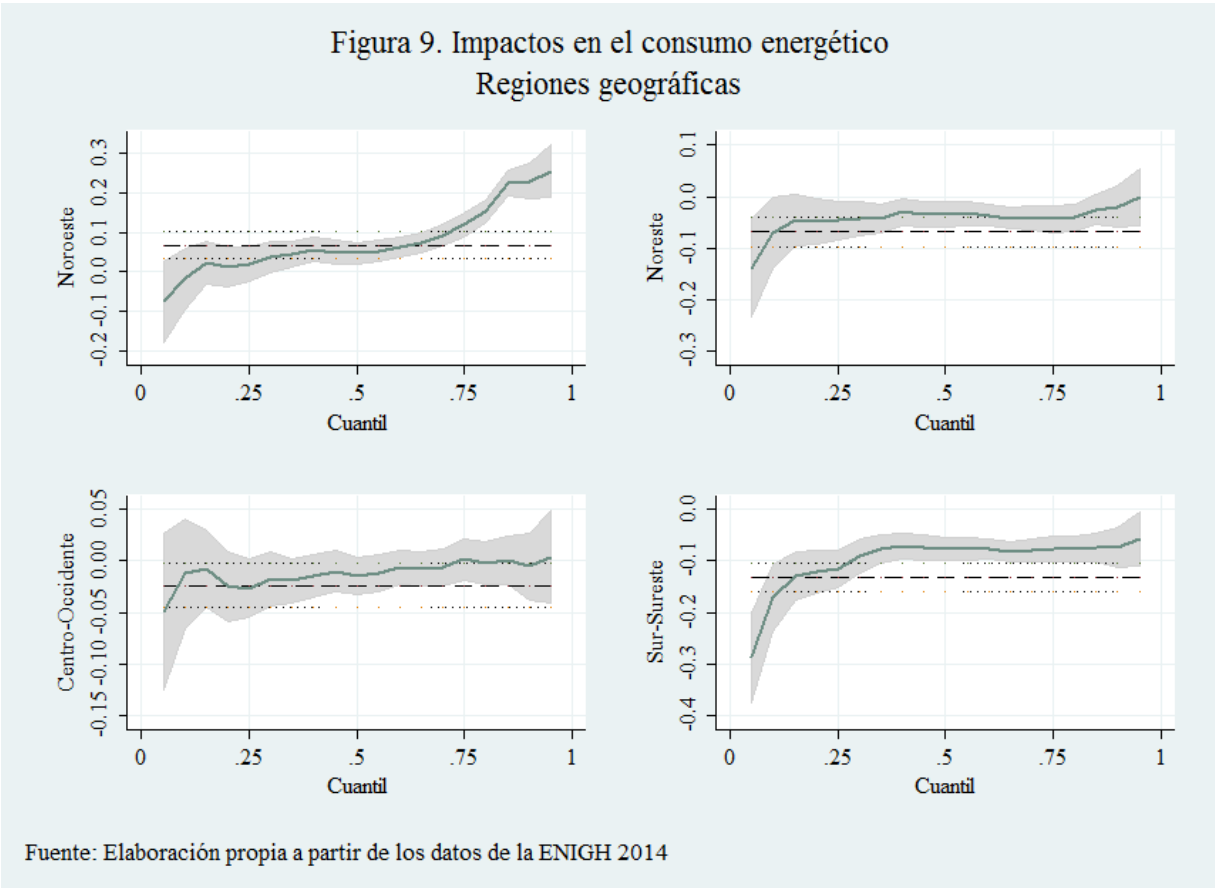
Fuera del impacto de las variables climáticas, el uso del aire acondicionado es el determinante más importante de consumo de electricidad de los hogares mexicanos. En promedio, el hecho de que un hogar cuente con aire acondicionado implica que su consumo de electricidad crecerá más del 25%. Este resultado es todavía más importante para los hogares en los cuantiles de consumo elevado. Tan sólo en el cuantil 90, este efecto es más poderoso ya que predice que el consumo crecerá en más del 50%. Para el cuantil 95 es aún más importante, ya que representa un aumento del 64%. Para futuros estudios, es importante identificar los patrones de uso de los equipos de aire acondicionado en estos hogares y revisar si existe una forma de desincentivar que los tengan en funcionamiento por periodos prolongados.

La estufa eléctrica parece tener un mayor impacto en los hogares de menos consumo. Esto puede deberse a que, en afán de ya no utilizar estufas de gas para ahorrar en el consumo de este combustible, se esté trasladando este gasto hacia el recibo eléctrico. A medida que un hogar comienza a consumir más electricidad, el efecto del uso de una estufa eléctrica se va atenuando, hasta volverse no significativo en el cuantil 95.

#### **4.5 Regiones geográficas**

Es importante considerar los efectos regionales para determinar los efectos en el consumo de electricidad de los hogares. Esto se hace con el fin de capturar diferentes tipos de actividades económicas, oportunidades de empleo y dinámicas poblacionales que podrían impactar en el consumo y que no puedan ser capturadas mediante el uso de las demás variables incluidas en el modelo. La región centro es la que se utilizará como punto de comparación con respecto a las demás zonas del país.

La Figura 9 permite apreciar que, en promedio, todas las regiones de México tienen un consumo diferente al del centro del país. La región noroeste resulta ser la única que tiene un consumo mayor, mientras que las restantes presentan el caso contrario. Es notable el caso de la región sur-sureste, ya que su consumo es menor en un 16%. Este resultado era de esperarse ya que esta región concentra a los dos estados más pobres del país (Oaxaca y Chiapas) y sus condiciones climáticas no suelen cambiar mucho a lo largo del año.



Sin embargo, el análisis de MCO por sí mismo hace que se diluya gran parte del análisis en cada región geográfica. Por ejemplo, la región noroeste tiene un consumo mucho más elevado que el promedio a partir del cuantil 75 y llega a ser hasta un 27% más elevado que la región centro en el cuantil 95. Por lo tanto, los hogares con consumo alto en esta región son un objetivo importante para las políticas de promoción de ahorro de la energía. Se debe estudiar las características de estos hogares, analizar sus conductas y ver qué medidas pueden generar un impacto para lograr que su consumo disminuya. Hay que considerar, además, que esta región se

caracteriza por tener temperaturas muy elevadas en el verano y que los hogares hacen un uso elevado del aire acondicionado. Se deben buscar maneras alternativas en las que estas familias puedan enfriar sus casas en esa época del año.

Asimismo, los hogares con consumo bajo parecen no tener un consumo distinto del observado en la región centro (el único caso distinto es en la región sur-sureste en donde el consumo es menor en cualquier parte de la distribución). Es sólo hasta el cuantil 50 en que estas diferencias comienzan a ser significativas y a la baja. Por tal motivo, es importante enfocarse principalmente en los consumos de electricidad de aquellos hogares ubicados en los estados del centro de la República y en la zona Noroeste.

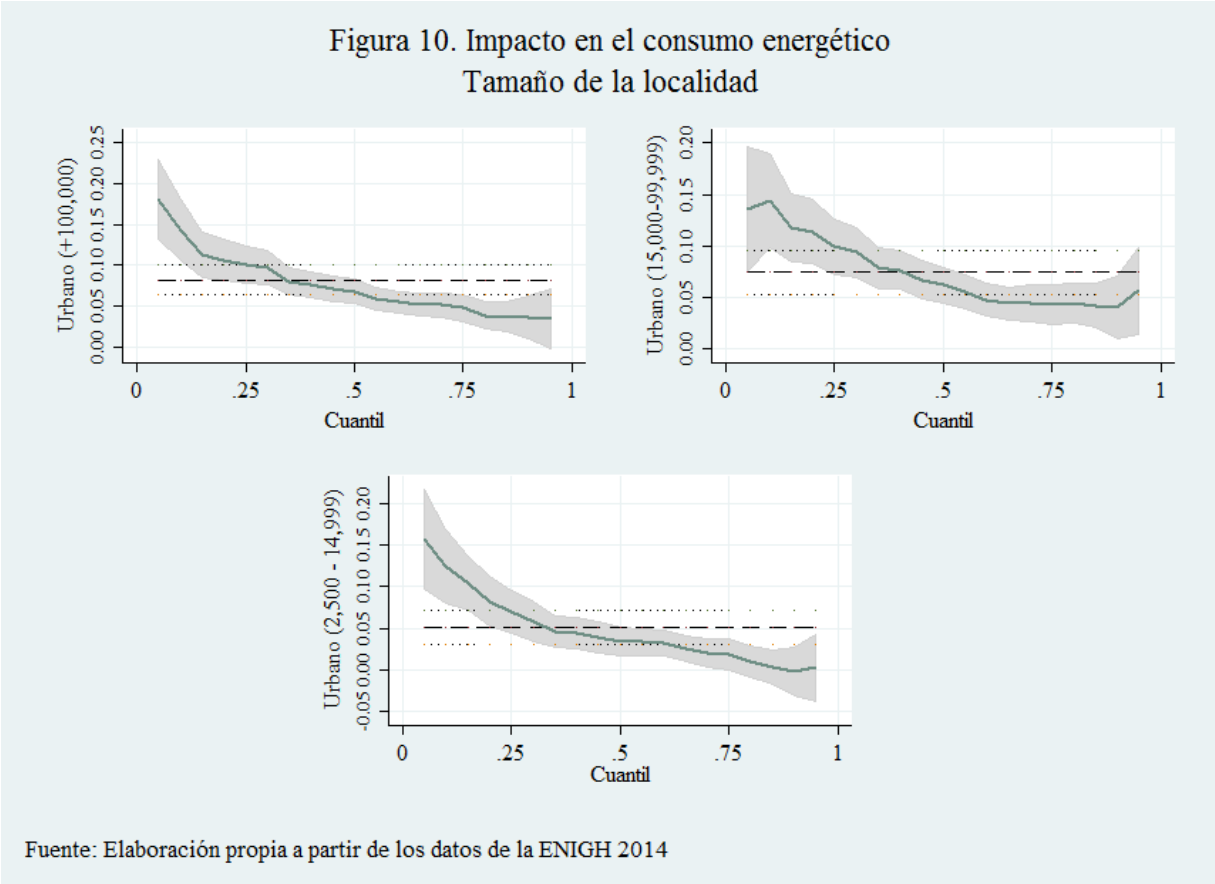
#### **4.6 Tamaño de la localidad**

Finalmente, se compara si el tamaño de la localidad en la que habita un hogar influye para determinar su consumo de energía eléctrica. A priori se podría esperar que los hogares en comunidades rurales tuvieran un menor consumo debido a la falta de acceso a la electricidad en varias poblaciones, y a que éstos tienen un menor número de aparatos electrodomésticos que los hogares urbanos (Rosas-Flores, J, et al, 2011). Los resultados de la Tabla 9 permiten confirmar estas suposiciones, ya que en promedio cualquier tipo de población urbana (con más de 2,500 habitantes) tiene un consumo superior a las comunidades rurales.

Si se analizan los patrones de los estimadores para cada tipo de localidad en la Figura 10, se puede apreciar que los cambios más significativos se encuentran en los hogares con consumo más bajo. Las viviendas urbanas que se encuentran en los cuantiles 5 y 10 llegan a consumir entre un 14% y 19% más electricidad que los hogares rurales. Esto puede deberse en parte a las diferencias socioeconómicas marcadas en esta parte de la distribución. Mientras que un hogar rural con consumo bajo puede tener pocos aparatos en el hogar y vivir en condiciones de pobreza, un hogar urbano puede consumir poco debido a que sus integrantes pasen muy poco tiempo en el hogar, sin importar sus condiciones económicas.

A medida de que se analiza lo que ocurre en los cuantiles medianos, se puede apreciar que el efecto de vivir en una población urbana comienza a ser menor cada vez más. En el cuantil 50,

la diferencia en el consumo ya sólo es de aproximadamente entre el 3% y 6%. Para cuando se quiere analizar la cola superior de la distribución del consumo, la diferencia ya no resulta ser significativa para ningún tipo de localidad.



El resultado del análisis de estas variables permite entender que las mayores oportunidades de ahorrar energía se encuentran en los hogares urbanos, principalmente aquellos localizados en ciudades por encima de los 15,000 habitantes. Por lo tanto, aquellos recursos que se destinen a la promoción de programas de uso eficiente de la energía en comunidades rurales<sup>15</sup> serían más productivos si se emplearan para la promoción de otro tipo de políticas públicas en centros urbanos.

<sup>15</sup> Únicamente aquellos dirigidos al sector residencial

## 5. Caso comparativo

A continuación, se propone el análisis del consumo de electricidad de un hogar prototipo<sup>16</sup> considerando los siguientes supuestos:

- El ingreso trimestral es de \$42,000.
- El jefe de familia cuenta con estudios universitarios.
- El hogar tiene 4 habitaciones.
- Hay 4 habitantes en el hogar, incluidos 2 menores.
- Sólo un integrante del hogar está ocupado.
- Cuentan con un refrigerador, una lavadora, un ventilador y una estufa eléctrica.
- El hogar se encuentra en una localidad con más de 100,000 habitantes

Se considerarán los siguientes escenarios:

1. La temperatura es de 24°C y el hogar no tiene aire acondicionado
2. La temperatura es de 24°C y el hogar sí tiene aire acondicionado
3. La temperatura es de 30°C y el hogar no tiene aire acondicionado
4. La temperatura es de 30°C y el hogar sí tiene aire acondicionado

La Tabla 10 presenta el consumo eléctrico que tendrá el hogar prototipo, dependiendo de si se encuentra en el cuantil 90, 75 ó 50, además de si la vivienda se encuentra localizada en algún estado de la región noroeste o de la región centro. Para obtener el consumo, se utilizaron los parámetros correspondientes a cada cuantil del modelo presentado en la Tabla 9.

De entre las conclusiones que se pueden obtener del análisis de la Tabla 10, destaca el incremento en el consumo que se provoca por el uso del aire acondicionado a mayores temperaturas, especialmente en el cuantil 90. Mientras que el uso del aire acondicionado a

---

<sup>16</sup> Se utilizan como referencia los valores promedio de las variables obtenidos en la Sección 3.

temperaturas templadas genera un aumento en el consumo de entre 70 y 90 kWh, en temperaturas calidad puede llegar a ser de entre 107.7 y 133.2 kWh para las regiones centro y noroeste, respectivamente. Este resultado permite inferir que esta clase de hogares son tan sensibles a los cambios de temperatura, que requieren un uso más prolongado del aire acondicionado para poder mantener un nivel similar de bienestar. Si bien los hogares en los cuantiles 50 y 75 también aumentan su consumo considerablemente si utilizan el aire acondicionado, ninguno de estos hogares requiere emplear más de 100kWh para conseguir sus objetivos de bienestar o comodidad.

**Tabla 10. Estimación del consumo del hogar prototipo (kWh)**

<b>Región</b>	<b>24°C sin AC (I)</b>	<b>24°C con AC (II)</b>	<b>30°C sin AC (III)</b>	<b>30°C con AC (IV)</b>
<b>Cuantil 90</b>				
Noroeste	176.5	266.2	262.1	395.3
Centro	142.6	215.2	211.8	319.5
<b>Cuantil 75</b>				
Noroeste	115.2	148.8	174.8	225.8
Centro	103.1	133.2	156.4	202.0
<b>Cuantil 50</b>				
Noroeste	93.9	113.8	139.0	168.4
Centro	88.9	107.7	131.5	159.3

Fuente: Estimación propia a partir de los datos de la ENIGH 2014

Por otra parte, el efecto del uso del aire acondicionado es ligeramente más elevado que el del cambio de temperatura para los hogares de consumo elevado. Esta diferencia de 4 kWh, que se aprecia entre la columna II y la columna III en ambas regiones, sugiere que los hogares del cuantil 90 están muy acostumbrados a usar el aire acondicionado, sin importar qué tan elevada sea la temperatura en el exterior. Dicho de otro modo, con que los integrantes de este hogar sientan una pequeña pérdida de bienestar ocasionada por el calor, encenderán este aparato sin importarles las consecuencias sobre su consumo energético. Debido a esta situación, es conveniente informar a la población de las ineficiencias en el consumo que se generan por

utilizar los aires acondicionados a temperaturas no muy elevadas, e invitarlos a utilizar un método distinto para contrarrestar los efectos del calor en su hogar.

## 6. Conclusiones

A partir del análisis de regresión cuantílica con el supuesto de precios constantes en la muestra, se puede determinar que el comportamiento y uso de la energía eléctrica de los hogares con un mayor consumo difiere del promedio de los hogares mexicanos. En particular, se observa que un consumo alto está más relacionado a cambios en la temperatura y al uso del aire acondicionado, el cual puede provocar que un hogar consuma hasta un 64% más de electricidad. Este resultado es importante porque permite entender que muchos hogares no tienen una alternativa viable al uso del aire acondicionado para resguardarse de las altas temperaturas. Para mitigar estos efectos, es deseable promover programas o políticas de aislamiento térmico en los hogares que les permita mantener un mismo nivel de comodidad en el hogar y que les ayude a usar más eficientemente la electricidad.<sup>17</sup>

Las variables socioeconómicas no resultaron ser muy relevantes para entender las dinámicas de consumo en México. No existe ninguna relación entre la edad, la educación, el género ni la educación del jefe de familia para determinar si existe un mayor consumo de electricidad de los hogares, y se confirmó que la elasticidad ingreso es muy baja. Esto indica que los hogares buscan un nivel de consumo base de electricidad, el cual no cambia ante una mejora económica.

El análisis regional demuestra que los estados del noroeste, así como los del centro de la república son aquellos donde se utiliza la electricidad de manera más intensiva. El caso del noroeste es relevante porque en estos estados se tienen temperaturas más extremas a lo largo del año y, como ya se vio, los hogares tienen a ser más vulnerables en esta cuestión. Los estados del centro del país pueden tener un consumo más elevado porque esta región presenta una mayor concentración de ciudades, una población más elevada, y un crecimiento económico más acelerado.

---

<sup>17</sup> López-Calva y Rosellón (2002) argumentan que un cambio en la tarifas eléctricas, y de la manera en la cual se determinan los subsidios, permitiría eliminar estas ineficiencias

Finalmente, se puede concluir que con la estructura de tarifas actuales no existe evidencia para señalar que exista un uso ineficiente de los aparatos electrodomésticos, a excepción del uso del aire acondicionado. Los refrigeradores y las lavadoras tienen un peso más importante en aquellos hogares que tienen un consumo bajo. Sin embargo, a medida que el hogar aumenta su consumo, la relevancia del uso de estos aparatos va disminuyendo. Esto sirve para entender que no existe una presión excesiva de estos aparatos en el consumo del hogar, y que no es recomendable utilizar recursos públicos para promover programas de reemplazos o sustitución de equipos.



## Referencias

- Arimura, T., Li, S., Newell, R., Palmer, K. (2012). Cost-Effectiveness of Electricity Energy Efficiency Programs. *The Energy Journal*, 33(2), 63-99.
- Auffhammer, M., Aroonruengsawat, A. (2011). Simulating the impacts of climate change, prices and population on California's residential electricity consumption. *Climate Change*, 109, S191-S210.
- Borenstein, S. (2012). The Redistributive Impact of Nonlinear Electricity Pricing. *American Economic Journal: Economic Policy*, 4(3), 56-90.
- Canay, I. (2011). A simple approach to quantile regression for panel data. *The Econometrics Journal*, 14, 368-386.
- Comisión Federal de Electricidad. (2016). Tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica (2013 - 2014). 30 de marzo de 2016, de CFE Sitio web: [http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas\\_casa.asp](http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas_casa.asp)
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (2014) Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética – Balance al 2013, SENER, México.
- Davis, L., Fuchs, A., Gertler, P. (2014). Cash for Coolers: Evaluating a Large-Scale Appliance Replacement Program in Mexico. *American Economic Journal: Economic Policy*, 6(4), 207-238.
- Elshennawy, A. (2014). The implications of phasing out energy subsidies in Egypt. *Journal of Policy Modeling*, 36, 855-866.
- ENCC (2013) Estrategia Nacional de Cambio Climático: Visión 10-20-40, Gobierno de la República, México
- European Commission, 2011. COM (2011) 109 final. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Energy Efficiency Plan 2011. Brussels
- Fattouh, B., El-Katiri, L. (2013). Energy subsidies in the Middle East and North Africa. *Energy Strategy Reviews*, 2, 108-115.
- Fazeli, R., Davidstodt, B., Hallgrímsson, J. (2016). Residential energy demand for space heating in the Nordic countries: Accounting for interfuel substitution. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1210-1226.

- Fell, H., Li, S., Paul, A. (2014). A new look at residential electricity demand using household expenditure data. *International Journal of Industrial Organization*, 33, 37-47.
- Galindo, L. (2005). Short- and long-run demand for energy in Mexico: a cointegration approach. *Energy Policy*, 33, 1179-1185.
- Haas, R. (1997). Energy efficiency indicators in the residential sector: What do we know and what has to be ensured? *Energy Policy*, 25, 789-802.
- Han, L., Xu, X. y Han, L. (2015). Applying quantile regression and Shapley decomposition to analyzing the determinants of household embedded carbon emissions: evidence from urban China. *Journal of Cleaner Production*, 103, 219-230.
- Hancevic, P., Navajas, F. (2015). Consumo residencial de electricidad y eficiencia energética. Un enfoque de regresión cuantílica. *El Trimestre Económico*, LXXXII (4), 897-927.
- Heckman, J. (1979). Sample selection bias as a specification error". *Econometrica* 47 (1): 153–161.
- Huang, W. (2015). The determinants of household electricity consumption in Taiwan: Evidence from quantile regression. *Energy*, 87, 120-133.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015) Encuesta Nacional de Ingreso y Gasto de los Hogares, 2014, bases de datos. 25 de marzo de 2016 de Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags., México. Sitio web: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/hogares/regulares/enigh/enigh2014/tradicional/default.aspx>
- International Energy Agency (2013). Transition to sustainable buildings. Strategies and opportunities to 2050. International Energy Agency, Paris.
- Ito, K. (2014). Do Consumers Respond to Marginal or Average Price? Evidence from Nonlinear Electricity Pricing. *American Economic Review* 104(2), 537–63.
- Jano-Ito, A., Crawford-Brown, D. (2016). Socio-technical analysis of the electricity sector of Mexico: Its historical evolution and implications for a transition towards low-carbon development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 567-590.
- Jessoe, K., Rapson, D. (2014). Knowledge is (Less) Power: Experimental Evidence from Residential Energy Use. *American Economic Review*, 104(4), 1417-1438.
- Kavousian, A., Rajagopal, R., Fischer, M. (2013). Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior. *Energy*, 55, 184-194.

- Kaza, N. (2010). Understanding the spectrum of residential energy consumption: A quantile regression approach. *Energy Policy*, 38, 6574-6585
- Koenker, R., Bassett, G. (1978). Regression Quantiles. *Econometrica*, 46(1), 33-50.
- Koenker, R., Hallock, K. (2001). Quantile Regression. *Journal of Economic Perspectives*, 15(4), 143-156.
- Koenker, R. (2004). Quantile regression for longitudinal data. *Journal of Multivariate Analysis* 91, 74–89.
- López-Calva, L., Rosellón, J. (2002) On the Potential Distributive Impact of Electricity Reform in Mexico. *Centro de Estudios Económicos, Documento de trabajo*, 1, México D.F.
- Liu, W., Li, H. (2011). Improving energy consumption structure: A comprehensive assessment of fossil energy subsidies reform in China. *Energy Policy*, 39, 4134-4143.
- Medina, E., Vicéns, J. (2011). Factores determinantes de la demanda eléctrica de los hogares de España: Una aproximación mediante regresión cuantílica. *Estudios de Economía Aplicada*, 29-2, 515-538.
- Meier, H., Rehdanz, K. (2010). Determinants of residential space heating expenditures in Great Britain. *Energy Economics*, 32, 949-959.
- Moshiri, S. (2015). The effects of the energy price reform on households' consumption in Iran. *Energy Policy*, 79, 177-188.
- Nejat, P., Jomehzadeh, F., Mahdi Taheri, M., Gohari, M., Majid, M. (2015). A global review of energy consumption, CO2 emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO2 emitting countries). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 843-862.
- Niu, S, et al. (2016). Does electricity consumption improve residential living status in less developed regions? An empirical analysis using the quantile regression approach. *Energy*, 95, 550-560.
- OCDE (2003). *Environmentally Sustainable Buildings: Challenges and Policies*. OCDE, Paris
- Plante, M. (2014). The long-run macroeconomic impacts of fuel subsidies. *Journal of Development Economics*, 107, 129-143.
- PECC (2014) Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018. *Diario Oficial de la Federación*, México.
- Qiu, Y., Colson, G., Grebitus, C. (2014). Risk preferences and purchase of energy-efficient technologies in the residential sector. *Ecological Economics*, 107, 216-229.

- Ramos, A., Gago, X., Labandeira, P, Linares, P. (2015). The role of information for energy efficiency in the residential sector. *Energy Economics*, 52, S17 - S29.
- Reiss, P., White, M. (2005). Household Electricity Demand, Revisited. *Review of Economic Studies* 72(3), 853–83.
- Reza, S. (2014). Electricity inequality in Canada: Should pricing reforms eliminate subsidies to encourage efficient usage? *Utilities Policy*, 31, 36-43.
- Romero-Jordán, D., Peñasco, C., del Río, P. (2014). Analysing the determinants of household electricity demand in Spain. An econometric study. *Electrical Power and Energy Systems*, 63, 950-961.
- Rosas-Flores, J., Rosas-Flores, D., Morillón Gálvez, D. (2011). Saturation, energy consumption, CO2 emission and energy efficiency from urban and rural households' appliances in Mexico. *Energy and Buildings*, 43, 10-18.
- Secretaría de Energía (2014) Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2014-2018, SENER, México.
- Secretaría de Energía (2015) Prospectiva del sector eléctrico 2015-2029, SENER, México
- Servicio Meteorológico Nacional (2014) Temperatura máxima promedio a nivel nacional y por entidad federativa 2014. CONAGUA, México
- Servicio Meteorológico Nacional (2014) Temperatura media a nivel nacional y por entidad federativa 2014. CONAGUA, México
- Servicio Meteorológico Nacional (2014) Temperatura mínima promedio a nivel nacional y por entidad federativa 2014. CONAGUA, México
- Vera, S., Sauma, E. (2015). Does a carbon tax make sense in countries with still a high potential for energy efficiency? Comparison between the reducing-emissions effects of carbon tax and energy efficiency measures in the Chilean case. *Energy*, 88, 478-488.
- Wilson, C., Crane, L., Chryssochoidis, G. (2015). Why do homeowners renovate energy efficiently? Contrasting perspectives and implications for policy. *Energy Research & Social Science*, 7, 12-22.
- Wooldridge, J. (2010). *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. Estados Unidos de América: Massachusetts Institute of Technology.

## Anexo I: Estructura tarifaria de CFE para el sector residencial

**Tabla 10. Tarifa 1 sector residencial**

Rango de consumo (kWh)	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
Básico 1-75	0.792	0.795	0.798	0.801	0.804	0.807	0.81	0.813	0.816	0.819	0.822	0.825
Intermedio 76-140	0.963	0.966	0.969	0.972	0.975	0.978	0.981	0.984	0.987	0.99	0.993	0.996
Excedente	2.817	2.826	2.835	2.844	2.853	2.862	2.871	2.88	2.889	2.898	2.907	2.917
DAC	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5

Fuente: CFE (2016)

**Tabla 11. Tarifa 1A Sector residencial (Temperatura mínima 25°C)**

Rango de consumo (kWh)	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
Básico 1-100	0.703	0.705	0.707	0.709	0.711	0.713	0.715	0.717	0.719	0.721	0.723	0.725
Intermedio 101-150	0.823	0.826	0.829	0.832	0.835	0.838	0.841	0.844	0.847	0.85	0.853	0.856
Excedente	2.817	2.826	2.835	2.844	2.853	2.862	2.871	2.88	2.889	2.898	2.907	2.917
DAC	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5

Fuente: CFE (2016)

**Tabla 12. Tarifa 1B sector residencial (Temperatura mínima 28°C)**

Rango de consumo (kWh)	DIC./2013	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
Básico 1-125	0.701	0.703	0.705	0.707	0.709	0.711	0.713	0.715	0.717	0.719	0.721	0.723	0.725
Intermedio 126-225	0.82	0.823	0.826	0.829	0.832	0.835	0.838	0.841	0.844	0.847	0.85	0.853	0.856
Excedente	2.808	2.817	2.826	2.835	2.844	2.853	2.862	2.871	2.88	2.889	2.898	2.907	2.917
DAC	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5

Fuente: CFE (2016)

**Tabla 13. Tarifa 1C sector residencial (Temperatura mínima 30°C)**

Rango de consumo (kWh)	DIC./2013	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
Básico 1-150	0.701	0.703	0.705	0.707	0.709	0.711	0.713	0.715	0.717	0.719	0.721	0.723	0.725
Intermedio bajo 151-300	0.82	0.823	0.826	0.829	0.832	0.835	0.838	0.841	0.844	0.847	0.85	0.853	0.856
Intermedio alto 301-450	1.052	1.055	1.058	1.061	1.064	1.067	1.07	1.073	1.077	1.081	1.085	1.089	1.093
Excedente	2.808	2.817	2.826	2.835	2.844	2.853	2.862	2.871	2.88	2.889	2.898	2.907	2.917
DAC	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5

Fuente: CFE (2016)