

# Características de la pobreza energética en México: un enfoque desagregado

*Andrea Lourdes Espinosa-Dorado\**

*Martha Patricia Carrillo-Núñez\*\**

*Resumen:* La energía en las viviendas es un factor impulsor del desarrollo humano, sin embargo, en algunas ocasiones los hogares encuentran dificultades para obtener los servicios de energía que satisfagan las necesidades básicas. Este trabajo presenta un análisis deductivo sobre pobreza energética, con el objetivo de describir la demanda de energía y las implicaciones monetarios correspondientes para los hogares. El estudio construye un modelo *bottom-up* articulando secciones relativas al perfil de demanda diario, precios desestacionalizados e ingreso per cápita. Para incorporar la heterogeneidad climática y económica del país, se modelan 48 prototipos de hogares, creados de acuerdo con la región, el estrato económico y la superficie construida de las viviendas.

Los resultados vislumbran cuatro hallazgos principales: 1) los aparatos de ventilación, cocina y lavado impulsan la demanda diaria, entre ellos resalta la importancia de los aparatos de ventilación; 2) la proporción precio por MJ de los hogares de altos ingresos es menor que los de ingresos bajos; 3) los estratos altos gastan más proporción de su ingreso en energía, 4) los hogares que caen debajo de la línea de pobreza después de gastar en energía lo hacen debido a los bajos ingresos per cápita, y no por variables relacionadas con la energía.

\* Andrea Lourdes Espinosa-Dorado. Maestra en Energy Demand Studies por la University College London (UCL). Es investigadora independiente. Correo electrónico: andreadorado.p@gmail.com

\*\* Martha Patricia Carrillo-Núñez. Licenciada en Economía y en Comunicación por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). CRR Ubica. Correo electrónico: mpcarrillo.n@gmail.com

*Revista Legislativa de Estudios Sociales y de Opinión Pública*, vol. 14, núm. 30, enero-junio de 2021, pp. 77-116. Fecha de recepción: 27 de agosto de 2020. Fecha de aceptación: 17 de mayo de 2021.

Para fomentar una mayor transparencia, reproducibilidad y calidad, el modelo se encuentra disponible en línea.<sup>1</sup> De esta manera, las bases de datos, el procesamiento (códigos y fórmulas) y los resultados pueden ser verificados y utilizados por los interesados en el tema.

*Palabras clave:* energía, demanda, modelado, pobreza, hogares, gasto.

### **Characteristics of energy poverty in Mexico: a bottom-up approach**

*Abstract:* Energy in dwellings is a driver for human development, however, sometimes households find it difficult to access and afford basic energy services. This study presents a bottom-up approach to energy poverty and its features for the Mexican case. The aim is to describe the energy demand profile in Mexican households and gauge the monetary implications. The study constructs a bottom-up model using conditional probabilities to determine the electricity load profile incorporating climatic, economic and behavioural data. The results are related to seasonally adjusted prices and income in households to gauge the weight of energy expenditure. Attending to the heterogeneity in the country, we model 48 household prototypes, featured by economic stratum, dwelling size and geographic location.

The results glimpse four main findings: 1) ventilation, kitchen and washing appliances drive daily demand, among them the importance of ventilation appliances stands out; 2) the price per unit of energy is lower in high-income households, where the efficiency of the sources used plays a fundamental factor; 3) high-income households spend a higher percentage of their income on energy than low-income households, and 4) is the low income per capita and not the energy requirements, the biggest threat to fall under the poverty line.

To promote greater transparency, reproducibility and quality, the model is available online. The dataset, the processing codes, formulas and results can be verified and reused.

*Keywords:* energy, demand, modelling, poverty, households, expenditure.

<sup>1</sup> En [https://drive.google.com/file/d/1Z9zo-pMozO4TTzxLhSMk\\_ldIWtOE5R6C/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1Z9zo-pMozO4TTzxLhSMk_ldIWtOE5R6C/view?usp=sharing)

## Introducción

La energía en las viviendas ha sido fuertemente vinculada con el desarrollo humano, ya que en este espacio la energía genera satisfactores esenciales para el bienestar, tales como iluminación, confort térmico o preparación de alimentos. Sin embargo, en algunas ocasiones los hogares encuentran dificultades para obtener los servicios de energía que satisfagan sus necesidades básicas, ya sea porque el pago representa una gran carga en los ingresos, o bien porque no poseen los aparatos necesarios para transformar la energía en servicios.

La mayoría de los antecedentes analíticos sobre pobreza energética en los hogares proviene de la experiencia internacional, particularmente de países donde la necesidad de confort térmico en invierno representa un gran problema. Para el caso mexicano, encontramos únicamente dos antecedentes, los cuales abordan el problema en relación con el número de aparatos en posesión para proporcionar servicios básicos. Los trabajos presentados hasta el momento, tanto en México como en el extranjero, utilizan metodologías con enfoque *top-down* para encontrar la mejor manera de cuantificar los hogares en pobreza energética. El nivel de análisis macro deja un vacío para entender las características de los hogares y sus requerimientos específicos de demanda.

Esta investigación pretende llenar este vacío en la literatura y, a través de un enfoque *bottom-up*, deducir las particularidades de los hogares más vulnerables a la pobreza energética.

El método se basa en la construcción de un modelo que integre variables conductuales, socioeconómicas, técnicas y climáticas para determinar la demanda energética, el gasto correspondiente y la ponderación con los ingresos para distintos arquetipos de hogares. Toda esta configuración metodológica está orientada a dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿De qué manera los requerimientos de energía afectan los ingresos de los hogares mexicanos? ¿La merma en los ingresos pueden situar a los hogares en condición de vulnerabilidad económica?

## Contexto actual

### *Energía y progreso humano*

El uso de energía es ahora reconocido ampliamente dentro de los marcos estratégicos para atender el desarrollo sustentable, reconociendo su impacto en aspectos económicos, sociales y medioambientales. Dentro de este contexto, cuando se analiza la dimensión de desarrollo humano, generalmente, se considera el consumo de energía en las viviendas, ya que es en este espacio donde se proveen servicios indispensables para el bienestar y la productividad, tales como iluminación, ventilación, cocina o tecnología. Esta aseveración convierte a los hogares en actores trascendentales de los sistemas de energía.

El razonamiento anterior ha sido adoptado y salvaguardado por todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas, quienes, en 2015, aprobaron 17 Objetivos como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (ONU, 2015a). Dicho documento expone una visión de futuro que incluye hábitats humanos seguros, resilientes y sostenibles; con este propósito se establece el Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos (ONU, 2015b).

Lo anterior conlleva a una transición energética hacia nuevas fuentes, tecnologías y modelos de comercialización. Sin embargo, esa transición debe ser justa para los hogares. Para que la transición sea justa para los hogares, se deberá tener en cuenta su estructura de consumo, los dispositivos y su eficiencia energética, sobre todo considerando que las viviendas son uno de los sistemas humanos más directamente expuestos a los cambios climáticos (Ruijven van *et al.*, 2019: 2). A medida que el cambio climático provoca climas más extremos, los requerimientos de demanda y eficiencia energética de las viviendas se reestructurarán.

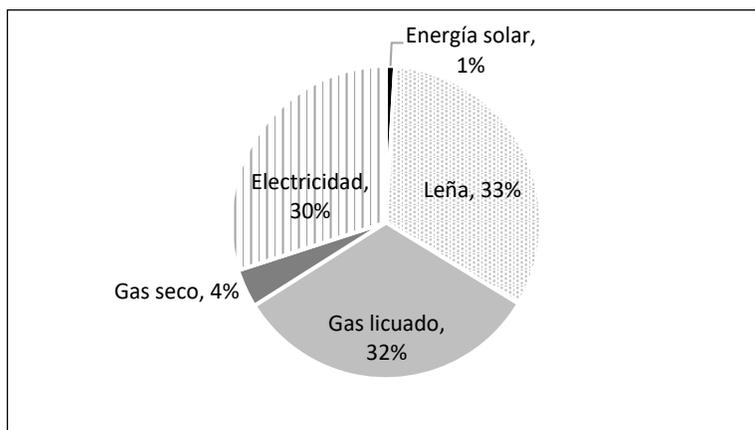
*Uso residencial de energía en México*

La energía consumida por el sector residencial en México representa el 14% del consumo total, detrás del sector transporte (44%) y el sector industrial (35%) (Sener, 2018). Más allá de la participación nacional, es importante puntualizar la estructura del consumo dentro del sector residencial, para ello con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi, 2018b) observamos las fuentes y los usos. Según los datos más recientes publicados por las autoridades, prácticamente todo el consumo del sector residencial proviene de fuentes convencionales (Figura 1).

Las fuentes de energía tienen tasas de penetración distintas en hogares de diferente estrato socioeconómico (véase Tabla 1). En general se pueden observar dos tendencias: los retos de la cobertura universal de energía eléctrica se encuentran en los niveles socioeconómicos bajos y las fuentes de menor valor calorífico son usadas en los hogares de estrato bajo.

El nivel de consumo de energía en los hogares se ve influenciado por el número de electrodomésticos que poseen. Un buen indicativo

Figura 1. Consumo de energía en los sectores residencial para 2018 (petajoules).



Fuente: Secretaría de Energía (Sener, 2018).

Tabla 1. Uso de fuentes de energía por estrato socioeconómico

<i>Estrato socioeconómico</i>	<i>Hogares con uso (%)</i>				
	<i>Electricidad</i>	<i>Gas LP</i>	<i>Gas natural</i>	<i>Carbón</i>	<i>Leña</i>
Bajo	97%	62%	0%	2%	36%
Medio bajo	99%	84%	2%	3%	10%
Medio alto	100%	68%	13%	1%	1%
Alto	100%	50%	18%	0%	0%

Fuente: Inegi (2018b).

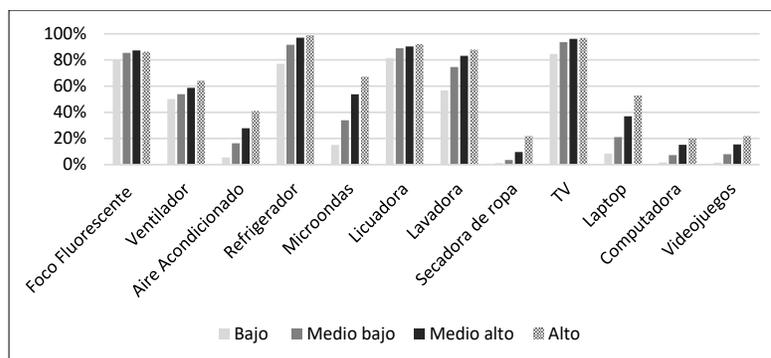
es la tasa de penetración de electrodomésticos, la cual refiere al número de hogares que utilizan al menos uno de los electrodomésticos en cuestión (Cabeza L. F. *et al.*, 2018: 4044). Analizando esta variable resulta evidente la disparidad de aparatos en los hogares (véase Figura 2).

### *Legislación y políticas públicas sobre usuarios residenciales de energía*

Existe una desarticulación de esta variable con el concepto de *pobreza* y su medición. La Ley General de Desarrollo Social (LGDS), publicada en 2004, en su artículo 6 señala que son derechos para el desarrollo social: la educación, la salud, la alimentación nutritiva y de calidad, la vivienda digna y decorosa, el disfrute de un medio ambiente sano, el trabajo y la seguridad social y los relativos a la no discriminación en los términos de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. En este sentido, el uso de la energía queda de forma implícita en el derecho a una vivienda digna y decorosa, así como en un medio ambiente sano.

El propio Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval) ha reconocido que existen retos que no

Figura 2. Tasa de penetración de aparatos en hogares de diferentes estratos



Fuente: Inegi (2018c).

están resueltos como: la definición de las dimensiones relevantes, las interacciones entre estas dimensiones o las restricciones en las fuentes de información.

El consumo de energía en las viviendas se circunscribe a la medición de la pobreza. El artículo 36 de la LGDS establece que el Coneval debe definir, identificar y medir la pobreza considerando al menos ocho indicadores, uno de los cuales es “Acceso a los servicios básicos en la vivienda”, que se compone a su vez por cuatro dimensiones: i) acceso al agua; ii) contar con drenaje; iii) disposición de electricidad, y iv) servicio de combustible para cocinar. Se destaca entonces que, aunque no se define explícitamente un indicador de pobreza energética, la metodología propuesta por el Coneval considera que la privación social del acceso a la electricidad y el tipo de combustible para cocinar (gas o electricidad) es un elemento que contribuye a la pobreza (García-Ochoa y Graizbord, 2016: 293).

Por otro lado, la legislación en materia energética se ha enfocado, principalmente, a la generación, distribución, transmisión y comercialización; sin embargo, son escasas las disposiciones que tratan la protección o regulación de los usuarios finales residenciales. Cabe

resaltar que los hogares como consumidores de energía dentro del derecho positivo mexicano se encuentran enmarcados en una ambigüedad en su definición y en el alcance de las medidas de atención.

La Ley de la Industria Eléctrica (LIE), la Ley de Transición Energética (LTE) y la Ley de Hidrocarburos (LH) abordan temas relativos a los consumidores residenciales; sin embargo, no hay un concepto específico dedicado a los hogares como consumidores de energía. En el primer ordenamiento, la LIE, la clasificación de usuarios residenciales se alude dentro del término *Usuario de Suministro Básico*, el cual se desprende de las fracciones XLIX, LVI y LVII del artículo 3 (véase Cuadro 1).

En la legislación energética los beneficios que obtienen los consumidores residenciales se suponen como externalidades positivas de la transición, pero no se les otorgan derechos expresos. Las dis-

Cuadro 1. Conceptualización de usuarios residenciales en la Ley de la Industria Eléctrica

Artículo 3.- Para efectos de esta Ley se considerarán las siguientes definiciones:

...

XLIX. Suministro Básico: El Suministro Eléctrico que se provee bajo regulación tarifaria a cualquier persona que lo solicite que no sea Usuario Calificado;

...

LVI. Usuario de Suministro Básico: Usuario Final que adquiere el Suministro Básico, y

LVII. Usuario Final: Persona física o moral que adquiere, para su propio consumo o para el consumo dentro de sus instalaciones, el Suministro Eléctrico en sus Centros de Carga, como Participante del Mercado o a través de un Suministrador.

Fuente: Cámara de Diputados (2020).

posiciones positivas que se prevén hacia los usuarios residenciales únicamente se establecen de manera general, y consideran:

- Universalización del servicio eléctrico.
- Financiación de la universalización del suministro eléctrico.
- Información y etiquetado en materia de eficiencia energética.

## **Revisión de la literatura**

### *Experiencia internacional*

Para realizar la revisión literaria tomamos como insumos documentos de literatura gris y de investigación académica. En ellas, no hay una métrica para la pobreza energética porque no hay una comprensión universalmente aceptada de lo que es estar por debajo del umbral de pobreza energética (Culver, 2017: 1). Los indicadores e índices de seguimiento y evaluación se han centrado principalmente en acceso, calidad, gasto y servicios.

Los indicadores utilizan una métrica única sobre una dimensión específica. Uno de los indicadores más comúnmente aplicado es el conocido como bajos ingresos, altos costos (Sokołowski *et al.*, 2020: 93), este establece un umbral absoluto de gasto energético en relación con los ingresos. Otro factor que se toma como referente es el acceso de los hogares a la electricidad y a los combustibles para cocinar. El acceso a electricidad es medida mediante la tasa de electrificación definida como el porcentaje de la población con conexión a una red eléctrica. El acceso a combustibles para cocinar es cuantificado a través del porcentaje de la población con servicios de cocina modernos provistos por gas licuado de petróleo, electricidad, sistemas de biogás o biomasa de alta eficiencia. Estos dos últimos indicadores generalmente son analizados de manera conjunta y prevalece en los estudios regionales debido a que facilita la comparación entre países (IEA, 2011: 16).

Los índices consideran las múltiples dimensiones de pobreza energética integrando en un solo número varios aspectos. El índice

más reproducido en la literatura académica es el Índice de Pobreza Energética Multidimensional (MEPI). El MEPI, propuesto inicialmente por Nussbaumer *et al.* (2011) adapta el enfoque de pobreza y desigualdad multidimensional a los estudios energéticos, y construye un índice para capturar múltiples privaciones de necesidades derivadas de la prestación de servicios energéticos (cocina, iluminación, servicios prestados por electrodomésticos, entretenimiento, educación y comunicación). Se establece una regla de privación para cada componente: si el total de privaciones excede un umbral arbitrario, un hogar se clasifica como pobre en energía.

En la práctica, los países europeos han sido pioneros en la implementación de medidas de políticas públicas. Así, por ejemplo, en Inglaterra, las acciones las encabeza el Departamento de Estrategia Comercial, Energética e Industrial (BEIS, 2020a), que mide la pobreza energética utilizando el indicador de bajos ingresos y costos altos (LHC). Se considera que un hogar es pobre en combustible si:

- ha requerido costos de combustible que están por encima del promedio (el nivel medio nacional); y
- si gastara esa cantidad, se quedaría con un ingreso residual por debajo de la línea de pobreza.

Los requisitos energéticos del hogar se predicen utilizando el Modelo de Energía Doméstica de Establecimientos de Investigación de Edificios, agregando cuatro categorías de usos: calefacción de espacios, calentamiento de agua, luces y electrodomésticos, y cocinar (BEIS, 2020b: 40). Los datos obtenidos motivaron la creación de la *Ley de conservación de energía y hogares cálidos*, la cual establece objetivos concretos de pobreza y eficiencia energética en los hogares para fines de 2030. Derivado de ello, se implementó la Estrategia de pobreza energética, la cual incluye obligaciones de eficiencia para los grandes proveedores de energía, descuento por hogar cálido, regulaciones del sector de alquiler privado, entre otros.

En 2018, la Comisión Europea presentó el Observatorio Europeo de la Pobreza Energética (EPOV, por sus siglas en inglés), cuyas

funciones incluyen generar estadísticas sobre la pobreza energética (EPOV, 2020: 8). El enfoque de la EPOV para medir la pobreza energética ha consistido en utilizar un conjunto de indicadores basados en el gasto, que deben verse y utilizarse en combinación. Los indicadores principales son:

1. Alta participación del gasto energético en los ingresos.
2. Baja participación del gasto energético en los ingresos.
3. Incapacidad para mantener el hogar adecuadamente caliente.
4. Atrasos en las facturas de servicios públicos.

Las acciones para atender la pobreza energética en Europa se dan tanto en la legislación como en las políticas públicas. Desde la legislación se han establecido objetivos de mitigación de la pobreza energética, se ha definido el concepto de *consumidores vulnerables* y se ha colocado a los consumidores en el centro del mercado energético. En las políticas públicas, los tipos de medidas ampliamente utilizadas son: tarifas de energía reducidas y protección de desconexión, ayuda financiera, medidas de ahorro energético, integración de energías renovables, sensibilización pública y la provisión de información (Kyprianou *et al.*, 2019: 50).

### *Estudios de caso para México*

En México la pobreza energética ha sido un tema poco explorado. Los trabajos de Santillán *et al.* (2020) y García-Ochoa y Graizbord (2016) constituyen los únicos antecedentes analíticos en la materia. La metodología en ambos trabajos se basa en establecer una necesidad cuya satisfacción requiera el consumo de energía. A ésta se le asigna un satisfactor, conceptualizado en un aparato dentro del hogar. La ausencia de éstos determina la pobreza energética.

Para García-Ochoa y Graizbord un hogar se encuentra en pobreza energética cuando las personas que lo habitan no satisfacen las necesidades de energía absolutas, las cuales están relacionadas con una serie de satisfactores y bienes económicos que son

considerados esenciales. Formalmente, un hogar está en pobreza energética cuando no tiene la totalidad de los bienes económicos seleccionados.

Santillán *et al.*, por su parte, determinan que una persona está en una condición de pobreza energética si la combinación de privaciones enfrentadas excede un umbral predefinido. Para cuantificar la condición de los hogares, se adopta el índice de pobreza energética multidimensional. Las viviendas que no pueden acceder al menos a uno de los servicios básicos de energía son consideradas dentro de pobreza energética. La Tabla 2 compara los enfoques de ambos autores.

Los resultados de García-Ochoa y Graizbord (2016) muestran que aproximadamente 37% de los hogares mexicanos están en pobreza energética, con marcadas diferencias en los niveles de privación de cada uno de los bienes económicos. Por otro lado, para Santillán *et al.* (2020), las viviendas en pobreza energética varían entre 8.1 y 15.2%. Adicionalmente, señalan que sólo el 9.4% del total de viviendas en pobreza energética registra un gasto en adquisición de energía superior al 10% de los ingresos totales.

Al interpretar los resultados, ambos trabajos dan una orientación social. La investigación de García-Ochoa y Graizbord advierte sobre una problemática social relevante debido al papel que desempeña la energía para mejorar la calidad de vida y reducir la pobreza y los impactos a la salud de las personas. En consecuencia, intuyen que las transformaciones urbanas y demográficas que experimentará el país presionan la incorporación de la pobreza energética en la agenda de desarrollo nacional. Por otra parte, Santillán *et al.* vislumbran una relación entre los índices de pobreza energética y el Índice de Desarrollo Humano, y promueve la vinculación metodológica entre ambos.

Como se puede observar, en los trabajos realizados hasta el momento, tanto en México como en el extranjero, la pregunta central de estudio es cuántos hogares se encuentran en pobreza energética. Las metodologías empleadas consisten en un enfoque *top-down*, es decir, es sólo en el nivel microeconómico donde se abordan las causales. Dentro de las métricas, el perfil de consumo

Tabla 2. Comparación de necesidades y satisfactores planteados por Santillán *et al.* (2020) y García-Ochoa y Graizbord (2016)

<i>Enfoque utilizado por García-Ochoa y Graizbord (2016)</i>		<i>Enfoque utilizado por Santillán et al. (2020)</i>	
Dimensión	Indicador	Dimensión	Indicador
Cocción de alimentos	Estufa de gas o eléctrica, condicionado a que el combustible para cocinar sea gas o electricidad.	Cocinar	(combustible de cocina moderno, contaminación interior)
Refrigerar alimentos	Refrigerador modelo 1996 a 2012.	Iluminación	(acceso a la electricidad)
Entretenimiento	Televisión o equipo de cómputo con acceso a internet.	Servicios prestados por medio de electrodomésticos	(tiene una nevera)
Iluminación	Foco incandescente o lámpara fluorescente por cuarto de la vivienda (excluyendo pasillos).	Entretenimiento / educación	(tiene radio o televisión)
Calentamiento de agua	Calentador de agua o estufa de gas o eléctrica.	Comunicación	(tiene un teléfono fijo o un teléfono móvil)
Aire acondicionado y ventilación	Ventilador por tres personas o equipo de aire acondicionado.		

Fuente: Santillán *et al.* (2020: 7) y García-Ochoa y Graizbord (2016: 2998).

de energía se considera como una variable independiente con un monto mensual fijo.

Este trabajo da vuelta al enfoque metodológico para analizar la pobreza energética desde una orientación *bottom-up*, para dar énfasis al perfil de demanda de los hogares. De esta forma la cuestión de estudio ya no es cuántos, ahora el punto de análisis es qué tipos de hogares son más vulnerables a la pobreza energética.

## **Metodología**

Esta investigación tiene como objetivo principal generar información sobre el perfil de demanda residencial diaria y sus implicaciones en la pobreza energética. Adicionalmente, busca proporcionar herramientas de investigación a través del acceso abierto al modelo, las bases de datos organizadas, las fórmulas y los códigos de procesamiento.

Para ello, se han establecido los siguientes objetivos particulares:

- Recopilación de datos de diversas bases de datos.
- Establecer un modelo general para calcular el perfil diario de demanda de energía en los hogares.
- Realizar un análisis de precios de los principales insumos energéticos para los hogares mexicanos.
- Equiparar el gasto en energía con el ingreso de los hogares.
- Proporcionar el modelo en formato abierto para promover la transparencia, reproductibilidad y utilidad de la investigación.

Toda esta configuración metodológica está orientada a dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿De qué manera los requerimientos de energía afectan los ingresos de los hogares mexicanos? ¿La merma en los ingresos puede situar a los hogares en condición de vulnerabilidad económica?

*Diseño del modelo*

La metodología tiene como centro de análisis los hogares mexicanos y sus requerimientos energéticos. Debido a la falta de información para desagregar el análisis al nivel de hogares, se construye un modelo *bottom-up* que incorpora dimensiones técnicas, socioeconómicas, conductuales y climáticas para determinar el perfil diario de demanda de energía. Una vez obtenido, se coteja con los costos promedio de los principales energéticos y se contraponen a los ingresos.

La unidad de estudio es el hogar y la cobertura de análisis es a escala nacional. Para llegar a este nivel de desagregación, granulemos la información en regiones climáticas, grupos socioeconómicos, superficie construida de las viviendas y temporada estacional. Las regiones climatológicas corresponden a las utilizadas por el Inegi (2018b) y se dividen en extremadamente cálida (cubre los estados del norte); templada (cubre el área central) y tropical (cubre el sur del país).

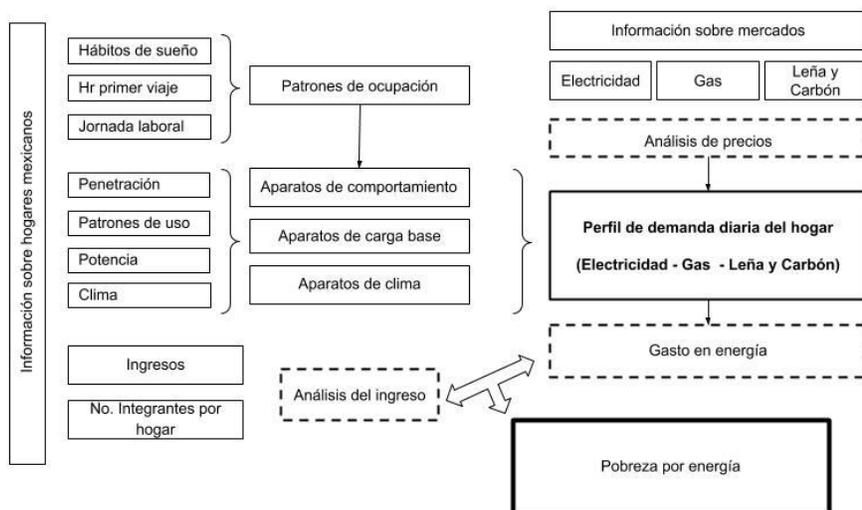
La estratificación socioeconómica contempla cuatro grupos: bajo, medio bajo, medio alto y alto, y corresponde a la metodología del Inegi (2018b, 2019, 2018a). Finalmente, se categoriza el tamaño de las viviendas en cuatro tamaños considerando la superficie construida, la clasificación es la siguiente: grupo 1 (hasta 55 m<sup>2</sup>), grupo 2 (de 56 a 100 m<sup>2</sup>), grupo 3 (de 100 a 200 m<sup>2</sup>) y grupo 4 (más de 201 m<sup>2</sup>). De esta forma, la metodología permite modelar 48 tipos de hogares. En la construcción del modelo se indicará región (R), estrato (E) y superficie construida (S).

El modelo está integrado por tres partes integradas: 1) perfil de demanda de energía, 2) análisis de precios, y 3) ingresos por integrantes del hogar. La relación entre los elementos se muestra en la Figura 3.

El desarrollo metodológico sigue la guía TReC (transparencia, reproducibilidad y calidad) sugerido por Huebner *et al.* (2020: 8) para presentar datos y códigos abiertos, accesibles, interoperables y reutilizables.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> El modelo se encuentra públicamente disponible en hojas de cálculo de Excel en: [https://drive.google.com/file/d/1Z9zo-pMozO4TTzxLhSMk\\_ldIWtOE5R6C/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1Z9zo-pMozO4TTzxLhSMk_ldIWtOE5R6C/view?usp=sharing)

Figura 3. Diagrama de flujo del modelo para el cálculo de la pobreza energética



Fuente: Elaboración propia.

El anexo A hace una descripción detallada del uso del modelo como instrumento de investigación.

### A. Perfil de demanda de energía

El perfil de demanda de energía modelado se basa en las técnicas utilizadas por Nijhuis *et al.* (2016), Adeoye y Spataru (2019) y Richardson *et al.* (2009), pero haciendo adaptaciones para que coincidan con los datos disponibles para el caso de México.

El primer paso del modelo es determinar los patrones de ocupación, asumiendo que la energía se consume cuando los miembros del hogar están en sus viviendas. Siguiendo los trabajos de Nijhuis *et al.* y Adeoye y Spataru, esta investigación emplea métodos probabilísticos, si bien los autores mencionados utilizan el método de cadena de Markov Monte Carlo, en el caso mexicano, debido a la

falta de datos, son utilizadas probabilidades condicionales para determinar dos posibles estados de los miembros del hogar: activo (despierto y en casa) o inactivo (dormido o fuera de casa). El cálculo de las probabilidades se realiza adhiriendo cuatro fases calculadas, como se expresa en la Tabla 3. Los patrones de ocupación contemplan una resolución temporal de 15 minutos, debido a que consideramos en lapso como promedio para el uso de un aparato.

Tabla 3. Estimación de probabilidad de actividad

<p>Fase 1. Probabilidad de estar despierto a la hora <math>i</math></p> $P(A_i)$	<p>Fase 2. Probabilidad de haber realizado el primer viaje fuera de casa a la hora <math>i</math></p> $P(FT_i A_i) = \frac{P(FT_i \cap A_i)}{P(A_i)}$
<p>Fase 3. Probabilidad de haber regresado a casa a la hora <math>i</math></p> $P(BH_i FT_i) = \frac{P(BA_i \cap FT_i)}{P(FT_i)}$	<p>Fase 4. Probabilidad de haber dormido a la hora <math>i</math></p> $P(S_i)$

Fuente: elaboración propia.

Junto a la ocupación de un hogar, es necesario modelar el conjunto de aparatos y la energía requerida para funcionar. Siguiendo a Adeoye y Spataru (2019), el modelo tiene en cuenta las tasas de propiedad del dispositivo, las probabilidades de uso, las condiciones climáticas y las condiciones técnicas de los electrodomésticos. La ecuación del perfil de carga de los dispositivos se expresa de la siguiente manera:

$$\sum P_{a,t}^h \tag{ec. 1}$$

$$P_{at}^h = (U_a^h * R_{a,t} * O_{a,t}) * N_{at}$$

Donde  $P$  es la carga de electricidad de los electrodomésticos en el hogar  $t$  a la hora  $h$ ;  $U$  es la probabilidad de uso de un aparato;  $R$

es la clasificación de potencia eléctrica; O es la tasa de propiedad y N es el número de electrodomésticos. El proceso lo adaptamos para tres categorías de dispositivos: carga base, dependientes de la ocupación y de dependencia climática (Figura 4).

Para los aparatos dependientes del clima, la probabilidad de uso de un aparato (P), además de estar condicionada por la ocupación de los miembros del hogar, se ve ajustada por la irradiación solar y la temperatura ambiente. Tomamos como evidencia los resultados de Richardson *et al.* (2009) para asumir que las luces se encienden si la irradiación es inferior a 60 W / m<sup>2</sup>. El nivel de uso de iluminación se escala con el número de ocupantes presentes en la vivienda.

$$P_t(\text{iluminación}) = \begin{cases} P_{(\text{activo})} \times \sqrt{M_t}, & \text{si } P_{(\text{activo})} > 0 \text{ y } I_t < 60 \\ 0 & \text{de otra manera} \end{cases} \quad (\text{ec. 2})$$

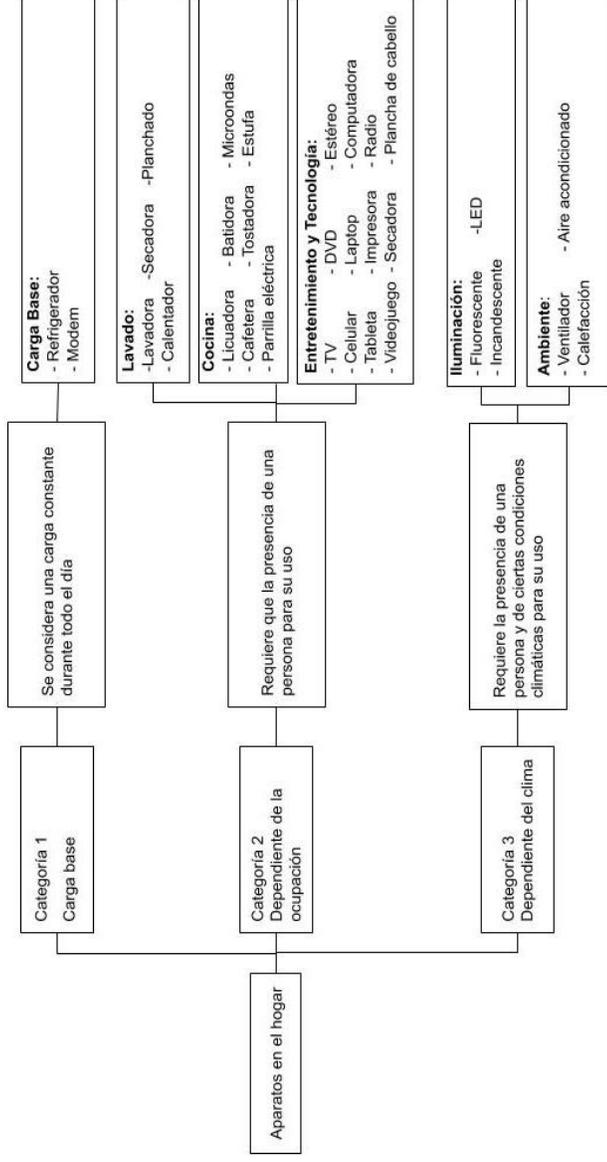
Donde  $P_{t(\text{iluminación})}$  es la probabilidad de usar aparatos de iluminación a la hora t,  $P_{t(\text{activo})}$  es la probabilidad de que los miembros del hogar estén activos en casa,  $M_a$  son los miembros del hogar i e  $I_r$  es la irradiación solar a la hora t.

En el caso de los dispositivos de ambiente, establecimos un umbral de confort térmico; si la temperatura está entre 14 y 27 °C los miembros del hogar se sienten térmicamente cómodos, por tanto, no encienden los aparatos meteorológicos (García Gómez *et al.*, 2011: 105) y (Gómez-Azpeitia *et al.*, 2017: 53). En consecuencia, la probabilidad de tener encendida la ventilación a la hora t se calcula por la ecuación 3. La calefacción es calculada por la ecuación 4.

$$P_t(\text{ventilación}) = \begin{cases} P_{(\text{activo})} \times \sqrt{M_t}, & \text{si } P_{(\text{activo})} > 0 \text{ y } TE_t > 27 \\ 0 & \text{de otra manera} \end{cases} \quad (\text{ec. 3})$$

$$P_t(\text{calefacción}) = \begin{cases} P_{(\text{activo})} \times \sqrt{M_t}, & \text{si } P_{(\text{activo})} > 0 \text{ y } TE_t < 14 \\ 0 & \text{de otra manera} \end{cases} \quad (\text{ec. 4})$$

Figura 4. Categorización de los dispositivos en el hogar



Fuente: elaboración propia.

## B. Análisis de precios

Analizamos los precios de los principales suministros energéticos como series de tiempo con intervalos mensuales para los años de 2017, 2018 y 2019. Primero, suavizamos la serie para eliminar variaciones atípicas, poniendo especial énfasis en el índice de estacionalidad. Con base en ello, determinaremos el precio promedio con las variaciones en las temporadas verano-no verano.

De acuerdo con información de la CFE (2020) y la CRE (2020a y 2020b), el precio de los combustibles para los usuarios finales residenciales depende de cinco factores principales:

1. La ubicación del hogar dentro del país.
2. Temperatura promedio en la localidad.
3. Estación del año (verano o no verano).
4. Nivel de consumo, y
5. Clasificación de tarifa eléctrica.

### I. Tarifas eléctricas

La estructura de precios analizada corresponde a la clasificación 1 (expuesta en la Tabla 4), la cual se aplica a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo con lo establecido en la Tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda (CFE, 2020).

La tarifa DAC no se incluye en el modelo por no estimarse estadísticamente significativa; sólo es registrado por el 1% de los hogares.

Los precios son registrados en pesos mexicanos (MXN) por Kw/h.

Tabla 4. Estructura de la tarifa de electricidad

<i>Tarifa 1</i>	
Consumo básico	por cada uno de los primeros 75 (setenta y cinco) kilowatts-hora.
Consumo intermedio	por cada uno de los siguientes 65 (sesenta y cinco) kilowatts-hora.
Consumo excedente	por cada kilowatt-hora adicional a los anteriores.

Fuente: CFE (2020).

## II. Precios gas LP y gas natural

Para el gas LP se consideran los precios promedio por entidad federativa publicados por la CRE (2020a), los cuales se calcularon a partir de los precios reportados por los distribuidores. Para el gas natural se considera precio de referencia el presentado por la CRE (2020b), el cual es desagregado en ocho regiones geográficas. En ambos casos arreglamos la distribución geográfica presentada por la fuente para empatarla con el precio promedio en las tres regiones consideradas en este estudio. Para el gas LP los precios son registrados en pesos por kilogramo. Para el gas natural los precios son expresados en pesos por Giga Joules.

## III. Precio de carbón y leña

Debido a la falta de datos sobre el precio de carbón y leña condujimos un análisis muestral de precios en el mercado. Los precios de ambos son expresados en pesos por kilogramo.

Dado que los precios de los diversos combustibles se registran en diferentes unidades de medida, para hacerlos comparables los transformamos a la expresión pesos por Mega Joules (MJ).

### C. Ingresos por integrantes del hogar

Para determinar el ingreso promedio para el hogar  $i$  se utilizan los datos reportados en la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (Inegi, 2019), específicamente la variable Ingreso trimestral. El ingreso se contempla como la suma de las aportaciones de todos los miembros del hogar. Para finalizar, se hace la segregación de hogares de acuerdo con la región geográfica donde habitan.

#### *Los datos*

La recopilación de datos involucró fuentes de diferente naturaleza, incluyendo encuestas, informes y muestreo de mercado. Todas las fuentes son de acceso abierto. La comparación transversal de datos correspondiente a los hogares es válida dado que las diferentes fuentes son comparables entre sí porque todos están estructurados bajo el mismo diseño muestral (Inegi, 2019).

El proceso de limpieza de datos utiliza tres criterios: eliminar valores atípicos a través del criterio de Chauvenet, calcular valores perdidos por el método de extrapolación o interpolación, según sea el caso, y eliminar de la lista las observaciones que mostraban falta de respuesta. Los datos eliminados representaron cerca del 4% del total de la base de datos cruda. Al final, se tomaron observaciones correspondientes a 23,866 hogares para desarrollar el modelo.

#### *Limitaciones*

El modelo no considera factores técnicos de los hogares que puedan influir en el consumo de energía como materiales aislantes de las construcciones o número de ventanas y tasa de ventilación. De igual manera, no se considera la eficiencia energética de los aparatos. En consecuencia, ya que asumimos una potencia nominal promedio, la influencia de los aparatos en la demanda proviene únicamente de la tasa de penetración.

## Alcance

El modelo está diseñado para aplicarse al caso mexicano. La reproductibilidad para otros países es restringida debido a que las operaciones y códigos están en función de la información disponible para el país.

## Resultados

### *Validación del modelo*

Debido a la falta de datos oficiales, la validación del modelo se realiza tomando en consideración el cálculo de electricidad consumida modelada contra el resultado de multiplicar la variable *medidor de electricidad* y la variable *clase de tarifa* registrada en el Inegi (2018b). De esta forma, el consumo mensual reportado se compara con la suma agregada pronosticada para los 30 días del mes. Cada uno de los subgrupos previstos varía entre el 5 y 14%, por lo que consideramos el modelo como un buen predictor.

### *Perfil de consumo*

Como resultado de la primera fase del modelo, se generan los perfiles de demanda diaria para los diferentes tipos de hogares. De esta sección, destacamos tres fuertes evidencias: la temporada verano es donde más energía se consume, existe un marcado perfil de consumo de dos picos y la ventilación es lo que más presión ejerce sobre la demanda. Esto se ilustra en las figuras 5 a 7.

En promedio el consumo de energía en los hogares aumenta 20% en la temporada de verano. La tendencia la lidera la región extremadamente cálida, con un aumento de 30%, seguida por la región tropical, donde aumenta 24%, y la región templada no registra variación entre temporadas.

Figura 5. Perfil de demanda en hogares de la región cálida extrema

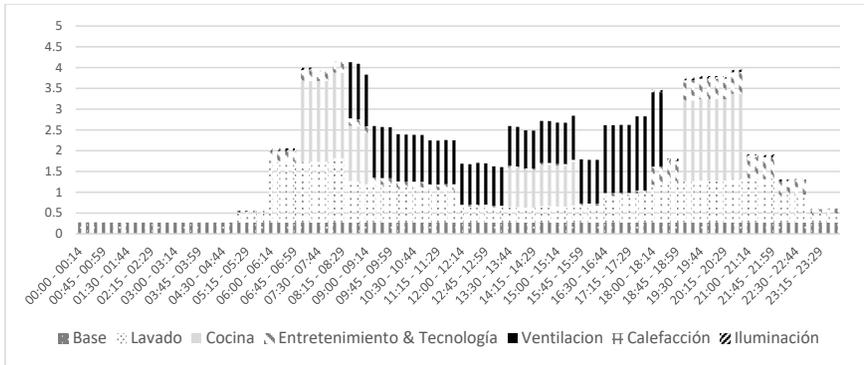


Figura 6. Perfil de demanda en hogares de la región templada

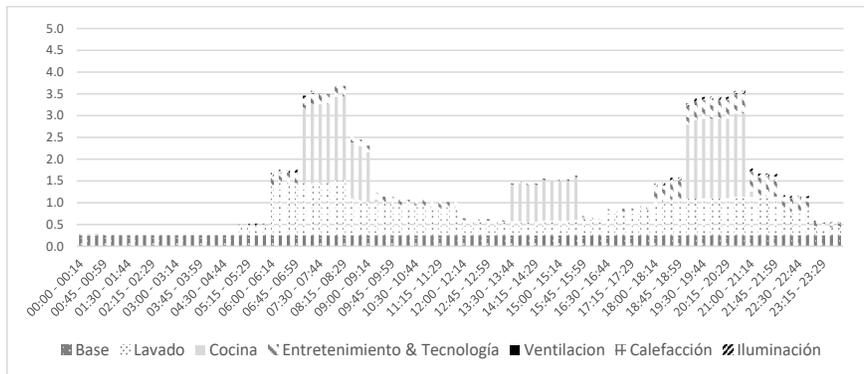
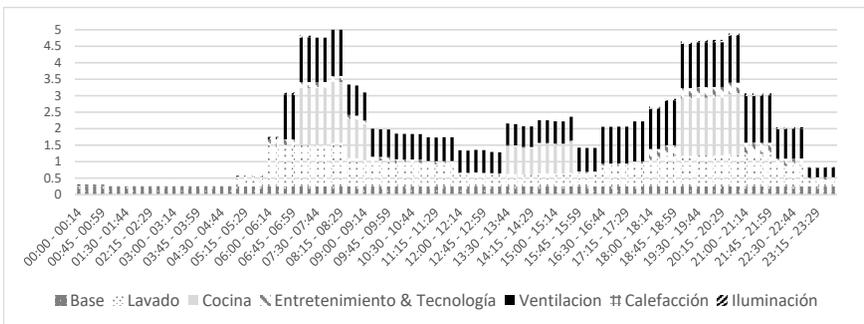


Figura 7. Perfil de demanda en hogares de la región tropical



Fuente: Elaboración propia como resultado del modelo construido.

Otra de las características principales encontradas es un perfil de demanda diaria de “dos picos”, que corresponde a un patrón de ocupación con la misma forma. La ocupación de los hogares suele aumentar por la mañana y por la tarde. Durante estos picos, aproximadamente 30% de la energía diaria se consume en la región templada. Para las regiones cálida extrema y tropical esta cifra aumenta a 40 por ciento.

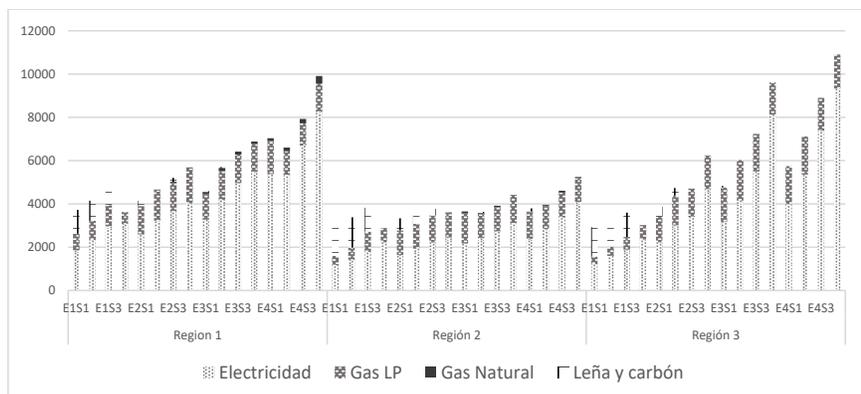
Los aparatos de ventilación son los que impulsan las grandes diferencias en cuanto a tiempo y cantidad. Para generar confort térmico dentro de las viviendas, los aparatos de enfriamiento deben estar encendidos en promedio 18 horas durante el día en la región tropical, 10 horas en la región extremadamente cálida y 0 horas en la región templada.

### *Impacto de las fuentes de energía*

Cuando cotejamos los resultados de la primera parte del modelo con las fuentes de energía usadas en el sector residencial, la perspectiva se amplía y sigue tres tendencias principales: los hogares de estratos más altos consumen más energía, la electricidad es la fuente que más energía aporta y la leña y el carbón son empleados en los estratos bajos.

En todas las regiones se da una relación positiva entre estrato económico y consumo de energía, siendo esto más evidente en la región 1 (extrema cálida) (véase Figura 8). Por ejemplo, en la región 1, un hogar de estrato económico alto y más de 201 m<sup>2</sup> de superficie construida (E4S4) consume el triple de energía que un hogar de estrato bajo y una superficie construida de menos de 55 m<sup>2</sup> (E1S1). Dicha tendencia también se muestra verdadera si consideramos que la única variable que cambia es la superficie construida de las viviendas, y mantenemos fijo el nivel de ingreso a través del mismo estrato. Entre el hogar E4S4 y el hogar E4S1 hay una diferencia de 40 por ciento.

Figura 8. Consumo por fuentes de energía y tipo de hogar



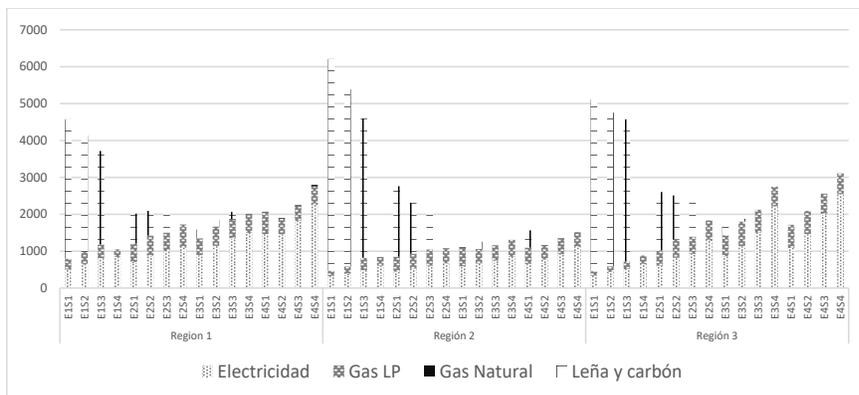
Fuente: Elaboración propia como resultado del modelos construido.

### *Gasto por fuentes de energía*

Ponderando las fuentes de energía consumidas por su precio, se mantiene una relación positiva entre gasto y estratos. Sin embargo, la magnitud de las diferencias entre estratos es menos si consideramos las variaciones en MJ consumidos. Lo anterior refleja que los grupos de nivel económico alto consumen fuentes con mayor eficiencia energética (véase Figura 9). Un factor importante para considerar es el gasto en leña y carbón derivado de la alta relación pesos por megajoules de este combustible. Después de suavizar las series de precios y considerar el factor estacional obtenemos los siguientes precios por MJ: \$0.272 para la electricidad, \$0.382 para el gas LP, \$0.121 para el gas natural, \$13.031 para la leña y \$10.812 para el carbón.

Debido a lo anterior, podemos observar que en la Figura 9 se multiplica el gasto de energía de los hogares que consumen leña y carbón. Es importante considerar que este modelo no incluye información sobre si la leña se recolecta o adquiere en el mercado.

Figura 9: Gasto en energía por fuentes y tipo de hogar



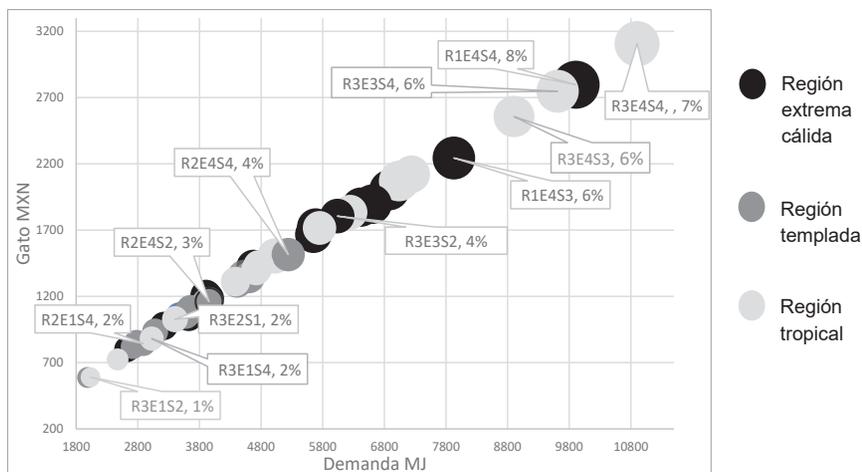
Fuente: Elaboración propia como resultado del modelo construido.

Considerando la gran incertidumbre respecto a la obtención de la leña y el fuerte impacto en los resultados, en el análisis posterior a este punto se excluye esta fuente.

### 5.5 Proporción gasto-ingreso

En cuanto a la proporción del gasto en energía en el ingreso total, encontramos que la media en la región extrema cálida y la región tropical es igual al 4%; en la región templada la proporción es de 3%. Igualmente, se confirma que los hogares de estrato económico alto destinan más proporción de ingresos a la energía. Para hogares de este estrato, el gasto representa el 5% en promedio. Por el contrario, el gasto en los hogares de estrato bajo representa el 2% del ingreso total. Esto se ilustra en la Figura 10, donde el tamaño de las burbujas representa el porcentaje del ingreso total gastado en energía. En la imagen, el color negro representa hogares que pertenecen a la región 1, el gris oscuro representa a la región 2 y el gris claro a la región 3.

Figura 10: Demanda, gasto y proporción del ingreso



Fuente: Elaboración propia como resultado del modelo construido.

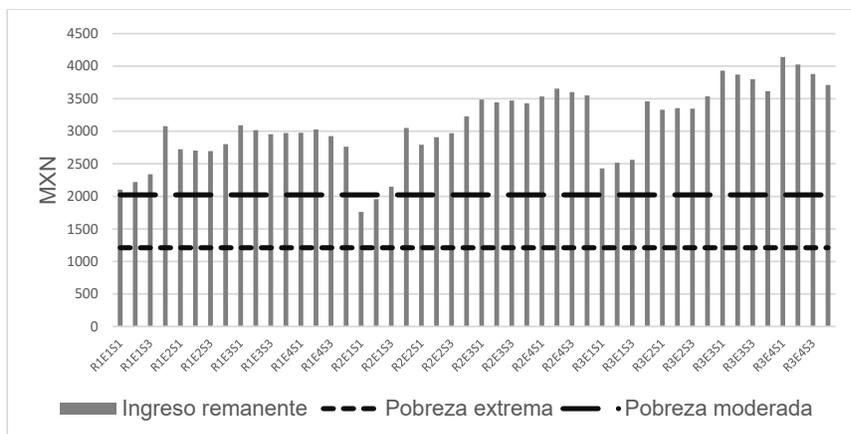
### *Ingreso per cápita remanente*

Finalmente, obtenemos el ingreso per cápita remanente, es decir, la cantidad de ingreso una vez descontado el gasto en energía dividido por los miembros del hogar (Figura 11). Comparamos el ingreso con las líneas de pobreza definidas por el Banco Mundial: pobreza extrema como ingreso diario menor a 1.9 USD (40.33 MXN) y pobreza moderada como ingreso diario menor a 3.1 USD (67.44 MXN). Los hogares más vulnerables son los de estrato bajo de la región templada, puesto que caen por debajo de la línea de pobreza moderada. Por el contrario, los hogares que menos presión tienen son los hogares de la región tropical.

### **Discusión**

Los estudios precedentes se han concentrado en encontrar la mejor manera de cuantificar la cantidad de hogares que se encuentran

Figura 11. Ingreso per cápita remanente y líneas de pobreza



Fuente: Elaboración propia como resultado del modelo construido.

en pobreza energética. Es común que los factores que influyen en el requerimiento de energía se asuman como determinados externamente, sin profundizar en su comprensión. Para eliminar esta brecha la metodología construida en este trabajo se orienta a desagregar los datos para perfilar la demanda de energía de acuerdo con diferentes prototipos de hogares. De esta forma la investigación presentada se diferencia de trabajos anteriores porque incorpora los siguientes elementos:

- Hace una clasificación específica de los grupos de hogares.
- Integra un patrón de comportamiento.
- Integra las características sociales del hogar.
- Considera efectos temporales en precios.

Lo anterior precisa la discusión en los siguientes puntos:

*Los aparatos de ventilación, cocina y lavado son los que impulsan la demanda diaria de energía en los hogares*

Estas tres categorías de aparatos satisfacen necesidades básicas en los hogares (confort térmico, alimentación y limpieza), por tanto, el comportamiento hacia ellos será difícil de cambiar. Las medidas de ahorro de energía para los hogares serán más eficientes si se concentran en el mejoramiento de la eficiencia energética que en la reducción de uso.

Por otro lado, encontramos que las grandes diferencias de demanda entre regiones provienen de los aparatos para proporcionar ambientes confortables (ventiladores y aire acondicionado). Es sustancial considerar la presión sobre estos servicios si se sigue la tendencia de los años más cálidos.

*Las fuentes de energía utilizadas en los hogares tienen un fuerte impacto en el gasto.*

Las fuentes de mayor eficiencia energética son usadas en hogares de estratos socioeconómicos altos. Esto se refleja en dos implicaciones:

- Primero, si bien los hogares de estrato económico alto consumen más energía, la proporción precio por MJ de energía es menor.
- Segundo, la relación precio-energía de la leña y el carbón elevan bruscamente el gasto energético. Actualmente, no hay datos disponibles acerca de la obtención de dicho combustible, se puede deducir que una proporción importante se consigue por medio de la recolección, lo cual no implica un costo.

*Los hogares de estratos altos destinan un mayor porcentaje de su ingreso a pagar las cuentas de energía.*

Aunque el porcentaje de ingresos dedicado a los costos de energía sea mayor en estratos económicos altos. El gasto es viable debido al monto total de ingresos que reciben.

La proporción de gasto es resultado de mayores tasas de penetración de aparatos en estos sectores de la población. En este sentido, profundizar en la eficiencia energética de los aparatos y los hábitos de uso de los mismos puede resultar significativo para el ahorro de energía.

*El gasto en energía es una amenaza para colocar a los hogares mexicanos debajo de las líneas de pobreza.*

Una vez descontado el gasto, hay hogares que caen debajo de la línea de pobreza moderada. Los hogares más vulnerables son los de estrato bajo de la región templada, este resulta poco esperado, dado que esta región registra la menor demanda de energía diaria (126.6 MJ, contra 190 MJ de la región extrema cálida y 193.9 MJ de la región tropical). Al mismo tiempo, los ingresos de esta región se registran en el segundo lugar a escala nacional. De acuerdo con esta investigación, la vulnerabilidad de estos hogares recae en que, en promedio, hay dos integrantes en comparación con el mismo tipo de hogar en las otras regiones, por ende, el ingreso remanente per cápita es menor.

Es importante recordar que este cálculo se basa en la adquisición actual de aparatos que consumen energía en el hogar y no en los que se necesitan para la satisfacción completa de necesidades.

### *Limitaciones y debilidades*

A lo largo del desarrollo del modelo se identificaron los siguientes puntos que pueden crear una limitación en el alcance y debilidad en los resultados:

- Muchas de las encuestas son de periodicidad “especial”, lo que significa que sólo se realizaron una vez, y se desconoce si se volverán a hacer y cuándo.
- Debido a la falta de datos, no es posible modelar el perfil de consumo los fines de semana.
- No se consideran factores técnicos como los materiales de construcción de la vivienda, la eficiencia energética de los aparatos o errores humanos en su funcionamiento.
- Hay gran incertidumbre al analizar los combustibles leña y carbón.

## **Conclusiones**

Aunque la medición multidimensional de la pobreza en su conceptualización reconoce factores y dimensiones más allá del ingreso, indudablemente el gasto en servicios esenciales es una forma de medir el bienestar de las personas en sus hogares. En el caso del consumo energético, su importancia se debe a que afecta de forma directa la preparación de alimentos, la higiene y el acceso a servicios educativos y de entretenimiento.

En este sentido, analizar la pobreza energética con un enfoque desagregado nos permite construir arquetipos de hogares que reflejen la heterogeneidad social y climática de México. El consumo no es homogéneo en las entidades federativas, pero tampoco lo es en una misma entidad y ello se debe a la desigualdad en el ingreso que se percibe en todo el país.

El uso de un modelo de simulación como herramienta de investigación ayuda a describir, predecir, probar o comprender los requerimientos de energía en los hogares y conceptualizar la demanda de energía como un proceso complejo, el cual integra variables conductuales, sociales, técnicas y climáticas ampliando el panorama del problema.

Como resultado de este procedimiento podemos responder a las preguntas de investigación con las siguientes aseveraciones. Los aparatos de ventilación, cocina y lavado son los que impulsan la

demanda diaria de energía en los hogares. La ventilación resalta debido a las divergencias que crea entre regiones y a la presión que sufrirá si se sigue la tendencia de años más cálidos. La estructura de fuentes de energía utilizadas en los hogares tiene un fuerte impacto en el gasto. Las fuentes de mayor eficiencia energética son usadas en hogares de estratos socioeconómicos altos, por ende, la proporción precio por MJ de energía es menor. Por lo anterior, el gasto en energía representa una amenaza para colocar a los hogares mexicanos de bajo estrato económico por debajo de las líneas de pobreza.

### *Recomendaciones para legislación y políticas públicas*

La visión del Estado respecto al sector energético se ha centrado principalmente en regular a la parte de la oferta y a los grandes consumidores del mercado. Tras el análisis de los requerimientos de energía en los hogares, y de deducir el peso que éste representa en los ingresos de los hogares, se recomienda hacer ajustes necesarios en el marco legal y en las acciones de políticas públicas para asegurar que la transición energética sea socialmente justa. Para mantener hogares resilientes y energía asequible, se recomiendan las siguientes medidas:

- Colocar a los consumidores “en el centro del mercado energético”.
- Incluir el término *pobreza energética* en la legislación.
- Privilegiar los programas de mejora en la eficiencia energética de los tres impulsores con mayor peso en el perfil de consumo.

### *Recomendaciones para futuras investigaciones*

Aún existen áreas de mejora en los trabajos sobre pobreza energética en México. Los temas específicos de investigación sugeridos

están relacionados con perfeccionar las mediciones técnicas y pronosticar los efectos de presiones futuras a la demanda. Puntualmente mencionamos:

- Evaluar el cambio en los perfiles de demanda de energía en los hogares para enfrentar el cambio climático.
- Profundizar en los factores técnicos que afecten el consumo de energía en los hogares.

### **Anexo A. Descripción operativa del modelo para la pobreza energética<sup>3</sup>**

La interfaz del modelo incluye hojas de cálculo para cada sección del modelo (Sección 1: Probabilidad de estar activo en casa; Sección 2: Perfil diario de demanda de energía; Sección 3: Análisis de precios; Sección 4: Relación ingreso-gasto en energía), así como una pestaña para el cálculo del modelo y otra para el índice. Estas pestañas se utilizan para almacenar las bases de datos, crear los códigos de operaciones y visualizar resultados.

Al abrir el archivo aparece la hoja “CÁLCULO”. En primer plano se presenta el cuadro con las opciones para elegir los parámetros del hogar que se desea modelar. Al hacer clic en cada botón de color gris se despliega una lista de opciones a elegir (véase Figura A.1).

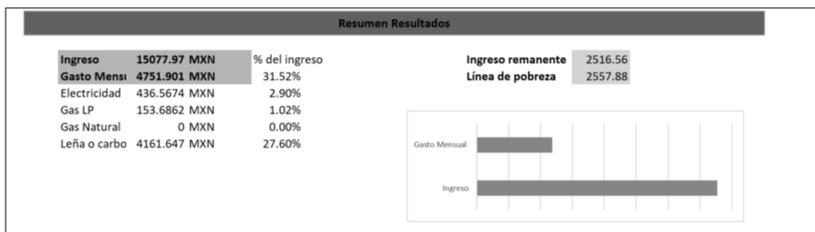
Figura A.1. Cuadro de selección de parámetros

The image shows a software interface titled "Elegir Parámetros". It contains the following elements:

- Region:** A dropdown menu currently showing "Tropical". The visible options are "Extreme warm", "Temperate", and "Tropical".
- Socioecon:** A dropdown menu currently showing "Tropical".
- Season:** A button labeled "Summer".
- Built Surface:** A button labeled "From 56 to 100 m2".

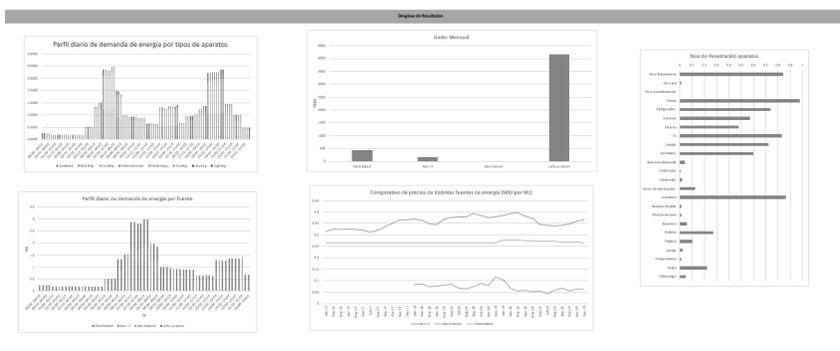
En el siguiente cuadro se presenta un resumen de la información más relevante, resultado de los parámetros seleccionados (véase Figura A.2).

Figura A.2. Cuadro de resumen de resultados



Abajo se desglosan de manera gráfica los principales resultados. Se presentan gráficos correspondientes a: 1) perfil diario de demanda de energía por tipos de aparatos; 2) perfil diario de demanda de energía por fuente; 3) gasto mensual; 4) comparativo de precios de distintas fuentes de energía (MXJ por MJ) y 5) tasa de Penetración aparatos (véase Figura A.3).

Figura A.3 Cuadro desglose de resultados



En la hoja “Índice” se organizan las secciones y cada una de las hojas de cálculo que sirvieron como insumo para su construcción. Por ejemplo, en el caso de la Sección 1: Probabilidad de estar activo en casa, los resultados de la sección se presentan en la hoja “A. Patrones de Ocupación”. Las bases de datos insumo para la sección se presentan en las hojas enlistadas subsecuentemente.

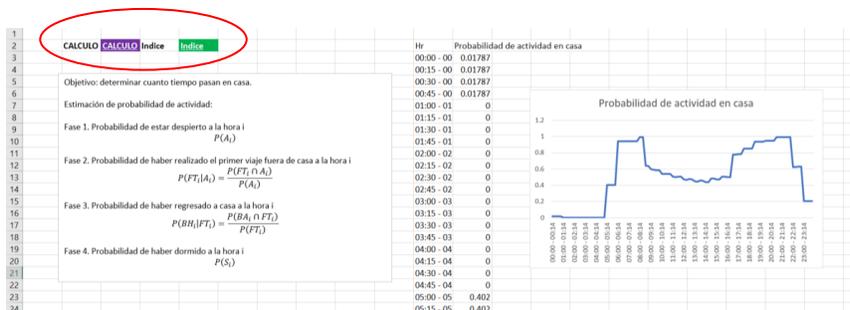
Para acceder a cada hoja se debe dar clic en el vínculo (celda de la derecha) (véase Figura A.4).

Figura A.4. Hoja índice

1	<b>Índice</b>	
2		
3	<b>CALCULO</b>	<a href="#">CALCULO</a>
4		
5	<b>Seccion 1: Probabilidad de estar activo en casa</b>	
6	<b>A. Patrones de Ocupación</b>	<a href="#">A. Patrones de Ocupación</a>
7	A.1 Probabilidades	<a href="#">A.1 Probabilidades</a>
8	A.2 Hrs de sueño	<a href="#">A.2 Hrs de sueño</a>
9	A.3 Viajes Diaria	<a href="#">A.3 Viajes Diaria</a>
10	A.4 Jornada Laboral	<a href="#">A.4 Jornada Laboral</a>
11	A.5 Horas en el trabajo	<a href="#">A.5 Horas en el trabajo</a>
12	A.6 Horas netas en el trabajo	<a href="#">A.6 Horas netas en el trabajo</a>
13		
14	<b>Seccion 2: Perfil diario de demanda de energia</b>	
15	<b>B. Perfil de carga</b>	<a href="#">B. Perfil de carga</a>
16	B.1 Potencia	<a href="#">B.1 Potencia</a>
17	B.2 Penetracion	<a href="#">B.2 Penetracion</a>
18	Fuente: electricidad	
19	B.3 CargaBase	<a href="#">B.3 CargaBase</a>
20	B.4 Lavado	<a href="#">B.4 Lavado</a>
21	B.5 Plancha	<a href="#">B.5 Plancha</a>
22	B.6 Cocina	<a href="#">B.6 Cocina</a>
23	B.7 Entretenimiento	<a href="#">B.7 Entretenimiento</a>
24	B.8 Tecnologia	<a href="#">B.8 Tecnologia</a>
25	B.9 Clima	<a href="#">B.9 Clima</a>
26	B.10 Iluminacion	<a href="#">B.10 Iluminacion</a>
27	Fuente: gas (LP y Natural)	
28	B.11 GAS	<a href="#">B.11 GAS</a>
29	Fuente: Leña y Carbon	
30	B.12 LENA Y CARBON	<a href="#">B.12 LENA Y CARBON</a>
31		

En cada hoja-insumo se presenta la base de datos utilizada, los códigos de procesamiento y una breve nota técnica. Para facilitar la navegación, en la parte superior se encuentran dos botones para regresar a las hojas principales.

Figura A.4. Hojas de análisis



## Referencias

- Adeoye, Omotola y Spataru, Catalina (2019). “Modelling and forecasting hourly electricity demand in West African countries”. *Applied Energy*, 242, pp. 311-333. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.03.057.
- BEIS (2020a). Annual Fuel Poverty Statistics in England, 2020 (2018 data). Department for Business, Energy & Industrial Strategy, Reino Unido. Disponible en: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/882404/annual-fuel-poverty-statistics-report-2020-2018-data.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/882404/annual-fuel-poverty-statistics-report-2020-2018-data.pdf) (consulta: 1 de agosto de 2020).
- (2020b). Fuel Poverty Methodology Handbook. Department for Business, Energy & Industrial Strategy, Reino Unido. Disponible en: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/882233/fuel-poverty-methodology-handbook-2020.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/882233/fuel-poverty-methodology-handbook-2020.pdf) (consulta: 6 de agosto de 2020).
- Cabeza L. F.; d. Üрге-Vorsatz; Palacios, A.; d. Üрге; Serrano, S.; Barreneche, C. (2018). “Trends in penetration and ownership of household appliances”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (82), p. 4044. DOI: 10.1016/j.rser.2017.10.068
- Cámara de Diputados (2020): Ley de la Industria Eléctrica. México. Disponible en: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIElec\\_110814.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIElec_110814.pdf) (consulta: 9 de agosto de 2020).

- Comisión Federal de Electricidad (CFE) (2020). Esquema tarifario vigente. Hogar. México. Disponible en: <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRECasa/Casa.aspx>. Última comprobación 1 de agosto de 2020 (consulta: 29 de julio de 2020).
- Comisión Reguladora de Energía (CRE) (2020a). Historial de precios promedio al público de gas LP reportados por los distribuidores. Disponible en: <https://www.gob.mx/cre/documentos/historial-de-precios-promedio-al-publico-de-gas-lp-reportados-por-los-distribuidores?state=published> (consulta: 9 de agosto de 2020).
- (2020b). Índices de Referencia de Precios de Gas Natural. México. Disponible en: <https://www.cre.gob.mx//IPGN/index.html> (consulta: 29 de julio de 2020).
- Culver L. C. (2017). *The Stanford Natural Gas Initiative Energy Poverty: What You Measure Matters*. Estados Unidos: Stanford University. Disponible en: [https://ngi.stanford.edu/sites/g/files/sbiybj14406/f/NGI\\_Metrics\\_LitReview%282-17%29.pdf](https://ngi.stanford.edu/sites/g/files/sbiybj14406/f/NGI_Metrics_LitReview%282-17%29.pdf)
- EPOV (2020). “Towards an inclusive energy transition in the European Union: Confronting energy poverty amidst a global crisis”. Disponible en: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/4a440cf0-b5f5-11ea-bb7a-01aa75ed71a1/language-en> (consulta: 6 de agosto de 2020).
- García Gómez, Carmen, Bojórquez Morales, Gonzalo y Ruiz Torres, Pavel (2011). “Sensación térmica percibida en vivienda económica y auto-producida, en periodo cálido, para clima cálido húmedo”. *Ambient. constr.* 11 (4), pp. 99-111. DOI: 10.1590/S1678-86212011000400008.
- García-Ochoa, Rigoberto y Graizbord, Boris (2016). “Caracterización espacial de la pobreza energética en México. Un análisis a escala subnacional”. *Economía, Sociedad y Territorio*. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-84212016000200289](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212016000200289) (consulta: 19 de agosto de 2020).
- Gómez-Azpeitia, Gabriel, Bojórquez Morales, Gonzalo y Ruiz Torres, Raúl (2017). “El confort térmico: dos enfoques teóricos”. *Revista*

- de Investigación Científica en Arquitectura II (I)*". Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/285832706\\_El\\_confort\\_termico\\_Dos\\_enfoques\\_teoricos](https://www.researchgate.net/publication/285832706_El_confort_termico_Dos_enfoques_teoricos) (consulta: 6 de agosto de 2020).
- Huebner, G., Fell, M. y Watson, N. (2020). "Improving Research Practices in Energy: Practical Guidance for Greater Transparency, Reproducibility and Quality". *Preprints 2020* (2020070537). DOI: 10.20944/preprints202007.0537.v1.
- IEA (2011). "Energy for All: Financing access for the poor". Disponible en: [https://webstore.iea.org/download/direct/2747?fileName=weo2011\\_energy\\_for\\_all.pdf](https://webstore.iea.org/download/direct/2747?fileName=weo2011_energy_for_all.pdf), Última comprobación el 17/08/2020 (consulta: 12 de agosto de 2020).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (2018a). Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), población de 15 años y más de edad. México. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/enoe/15ymas/default.html#Microdatos>. (consulta: 14 de agosto de 2020).
- (2018b). Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI) 2018. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/encevi/2018/> (consulta: 16 de agosto de 2020).
- (2018c). Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares 2018. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/495> Fecha de (consulta: 16 de agosto de 2020).
- (2019). Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2018. México. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/enigh/nc/2018/default.html#Microdatos> (consulta: 11 de agosto de 2020).
- Kyprianou, I., Serghides, D. K., Varo, A., Gouveia, J. P., Kopeva, D. y Murauskaitė, L. (2019). "Energy poverty policies and measures in 5 EU countries: A comparative study". *Energy and Buildings*, 196, pp. 46-60. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.05.003.
- Nijhuis, M., Gibescu, M. y Cobben, J. F. G. (2016). "Bottom-up Markov Chain Monte Carlo approach for scenario based residential

- load modelling with publicly available data”. *Energy and Buildings*, 112, pp. 121-129. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.12.004.
- Nussbaumer, P., Bazilian, M., Modi, V. y Yumkella, K. (2011). “Measuring energy poverty. Focusing on what matters”. Working paper 42. Oxford: Oxford Poverty & Human Development Initiative. Disponible en: [https://www.ophi.org.uk/wp-content/uploads/OPHI\\_WP\\_42\\_Measuring\\_Energy\\_Poverty1.pdf](https://www.ophi.org.uk/wp-content/uploads/OPHI_WP_42_Measuring_Energy_Poverty1.pdf). Última comprobación 16 de agosto de 2020 (consulta: 1 de agosto de 2020).
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2015a). La Agenda para el Desarrollo Sostenible. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/> (consulta: 6 de agosto de 2020).
- (2015b). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Estados Unidos. Disponible en: [https://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=S](https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=S) (consulta: 6 de agosto de 2020).
- Richardson, I., Thomson, M., d. Infield y Delahunty, A. (2009). “Domestic lighting: A high-resolution energy demand model”. *Energy and Buildings*, 41(7), pp. 781-789. DOI: 10.1016/j.enbuild.2009.02.010.
- Ruijven van, Bas J., Cian, Enrica de y Sue Wing, Ian (2019). “Amplification of future energy demand growth due to climate change”. *Nature communications* 10 (1), p. 2762. DOI: 10.1038/s41467-019-10399-3.
- Santillán, O. S., Cedano, K. G. y Martínez, M. (2020). “Analysis of Energy Poverty in 7 Latin American Countries Using Multi-dimensional Energy Poverty Index”. *Energies* 2020, 13 (1608). DOI: 10.3390/en13071608.
- Secretaría de Energía (Sener) (2018). Sistema de Información Energética. México. Disponible en: <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=about> (consulta: 19 de agosto de 2020).
- Sokołowski, J., Lewandowski, P., Kielczewska, A. y Bouzarovski, S. (2020). “A multidimensional index to measure energy poverty: the Polish case”. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 15(2), pp. 92-112. DOI: 10.1080/15567249.2020.1742817.