

Mitzi Contreras
Montserrat Serrano-Medrano
Omar Masera



Patrones de consumo energético en el sector residencial de México:

un análisis desde la perspectiva de usos finales



Patrones de consumo energético en el sector residencial de México: un análisis desde la perspectiva de usos finales



**GOBIERNO DE
MÉXICO**



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Mitzi Contreras

Montserrat Serrano-Medrano

Omar Masera

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt)
Plataforma Nacional Energía Ambiente y Sociedad (Planeas)
Programa Nacional Estratégico de Energía y Cambio Climático (Pronaces-ECC)



Grupo de Innovación en Ecotecnologías y Bioenergía (GIEB)
Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES)
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)



AGRADECIMIENTOS

Este reporte no hubiera sido posible sin contar con la colaboración de la Comisión Nacional de Uso Eficiente de la Energía (Conuee). Específicamente quisiéramos agradecer los comentarios atinados y precisos del M.I. Odón de Buen y del M.I. Juan Ignacio Navarrete quienes nos permitieron mejorar sustantivamente versiones previas del reporte. Nos gustaría agradecer también la excelente corrección de estilo realizada por la Mtra. Andrea González Márquez. El trabajo ha sido financiado en el contexto del Proyecto Conacyt Foo3 319032 “Plataforma Nacional Energía Ambiente y Sociedad (Planeas) Fase 2: Consolidación y desarrollo de herramientas de modelado y planificación; así como por los Proyectos PAPIIT- IA105820 y PAPIIT-IV200120 de la UNAM. La M.I. Mitzi Contreras fue apoyada por el programa de becas Conacyt para ayudantes de investigador SNI III.

“Este cuaderno temático es producto de un proyecto apoyado por el Conacyt en el año 2022. Los contenidos y el diseño editorial es responsabilidad de las y los colaboradores. El Conacyt, con el fin de ampliar el acceso a los resultados y productos de los proyectos apoyados, difunde este documento sin que ello represente una postura institucional.”

ISBN: 978-607-8273-30-0

Diseño editorial

Arlen Hernández • tallerhojarasca.com
contacto@tallerhojarasca.com



Abril 2022



Contenido

Resumen ejecutivo | **6**

Introducción | **11**

Metodología | **15**

Saturaciones de equipos domésticos, acceso a tecnologías
y uso de combustibles | **16**

Estructura de la base de datos Encevi 2018 | **18**

Análisis de saturaciones en el acceso a tecnologías,
equipos domésticos y uso de combustibles y energéticos | **18**

Estimación de los consumos energéticos unitarios | **24**

Patrones de consumo energético del sector residencial | **32**

Análisis de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero
(GEI) del sector residencial | **33**

Resultados y discusión | **34**

Acceso a tecnologías y equipos domésticos | **35**

Consumos unitarios por uso final | **38**

Patrón de consumo energético del sector residencial | **40**

Usos finales de la energía | **40**

Consumo de combustibles | **49**

Emisiones de gases de efecto invernadero | **52**

Análisis de sensibilidad | **54**

Limitaciones del estudio | **55**

Recomendaciones y consideraciones finales | **56**

Referencias bibliográficas | **60**

Abreviaciones y nomenclatura

| | |
|--------|--|
| AC | aire acondicionado |
| CSA | colector solar de agua |
| Encevi | Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares |
| GEI | gases de efecto invernadero |
| GLP | gas licuado de petróleo |
| GN | gas natural |
| INEGI | Instituto Nacional de Estadística y Geografía |
| ODS | Objetivos de Desarrollo Sostenible |

Equivalencias

Energía

| | | |
|--------|---|------------|
| 1 GWh | = | 0.0036 PJ |
| 1 PJ | = | 23.88 KTEP |
| 1 kcal | = | 4.19 kJ |
| 1 kWh | = | 3600 kJ |

Densidad

| | | |
|------------------------|---|---------|
| 1 m ³ de GN | = | 0.74 kg |
| 1 L de GLP | = | 0.51 kg |

Volumen

| | | |
|------------------|---|----------|
| 1 bl | = | 158.99 L |
| 1 m ³ | = | 6.23 bl |



Resumen ejecutivo

La energía es un recurso indispensable para satisfacer necesidades básicas como cocción, iluminación, alimentación, movilidad y recreación, entre muchas otras. Sin embargo, el 36.7% de la población mexicana vive en situación de pobreza energética, por lo que no es capaz de satisfacer sus requerimientos energéticos de manera segura y asequible (García-Ochoa y Graizbord, 2016). Conocer las formas en que se utiliza la energía, según diferentes usos finales, ámbitos —rural o urbano— y regiones, nos permitirá entender mejor las necesidades de la población a fin de dar un primer paso hacia la eliminación de la pobreza energética. El presente documento examina el acceso y consumos de energía por uso final en el sector residencial de México, y pretende ser una herramienta de análisis para impulsar un uso más sostenible y justo de la energía en nuestro país.

Se estima que el sector residencial demandó el 18.1% (760 PJ) del total de la energía consumida en México en 2018 (Sener, 2019). No obstante, se ha carecido de certeza sobre la forma en que dicha energía es aprovechada, en términos de los usos finales que se le da en los hogares, las tecnologías en las que se emplea y los combustibles de donde provienen los diferentes consumos. La Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (Encevi) levantada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en 2018 representó un gran avance, pues dio a conocer con detalle el acceso social a diferentes dispositivos energéticos por uso final. Aun así, la citada encuesta no permite identificar por completo los consumos energéticos asociados a los diferentes usos finales y servicios energéticos, lo cual habría

representado una información muy valiosa para la formulación de estrategias nacionales y políticas públicas en materia de energía residencial.

A fin de superar estas limitaciones, el presente trabajo brinda un análisis completo del consumo de energía del sector residencial de México para 2018, incluyendo tanto el acceso a equipamiento y servicios energéticos como sus consumos unitarios y totales. Los resultados se presentan a escala nacional, regional y urbano-rural. El trabajo implicó un reprocesamiento de la Encevi para la obtención de las saturaciones de equipos domésticos en los diferentes ámbitos y regiones, así como el cálculo de los consumos unitarios de cada tecnología por uso final a partir de una revisión amplia de la literatura.

Principales resultados

Se estimó un consumo total de energía en el sector residencial de 790 PJ para 2018, del cual el 76% corresponde a energía térmica y el 24% restante a energía eléctrica. La cocción de alimentos fue el uso final de mayor demanda energética con el 59% del consumo (469 PJ), seguida por el calentamiento de agua (15%, 120 PJ), el enfriamiento de espacios (7%, 57 PJ), la refrigeración de alimentos (5%, 38 PJ), otros usos (4%, 29 PJ), calefacción (3%, 26 PJ), entretenimiento (3%, 24 PJ), iluminación (2%, 16 PJ), lavado de ropa (1%, 11 PJ) y bombeo de agua (>1%, 1 PJ). En cuanto a combustibles, el gas LP es el que suministra la mayor cantidad de energía con un 35% del consumo total (280 PJ), seguido muy de cerca por la leña (34%, 267 PJ), la electricidad con 24% (189 PJ), el gas natural con 3% (24 PJ), carbón con 2% (17 PJ) y finalmente la energía solar térmica con 1% (10 PJ) y la solar fotovoltaica con >1 (2.6 PJ).

El acceso a las tecnologías tiene una gran variación por uso final. Mientras usos como la iluminación, la refrigeración y la televisión presentan un acceso de carácter casi universal (99%, 86% y 89% de las viviendas, respectivamente), otros muestran rezagos importantes. Esto último ocurre con la estufa (80%), ya que un 20% de la población sigue utilizando leña como combustible primario para cocción, y otro 20% la usa como combustible secundario. De acuerdo con la Encevi, llegan a un porcentaje menor de las viviendas la lavadora (71%), el calentador de agua (38%), el ventilador (21%), el aire acondicionado (21%) y el calefactor (7%).

Un resultado interesante de este trabajo es que existe un uso múltiple de tecnologías para resolver muchos de los usos finales. En otras palabras, el proceso de modernización, más que conducir a una sustitución total de un tipo de tecnología por otra, se traduce muchas veces en una hibridación tecnológica. El caso más claro es la cocción de alimentos donde la Encevi documenta 28 millones de usuarios de leña, de los cuales 13.32 millones la utilizan como combustible primario y 14.6 como combustible secundario. Tales cifras indican que las estufas de GLP, particularmente en el ámbito rural, no llevan a un reemplazo total de los fogones de leña, sino a un uso combinado. Esta hibridación se da también en el calentamiento de agua —entre colectores solares y boilers de gas— y en la calefacción —entre electricidad, GLP y, en menor medida, leña—.

Los usos térmicos de la energía (en particular la cocción de alimentos) dominan por ámbito y por región. Sin embargo, la importancia relativa de los consumos por uso final, el combustible principal y el acceso a diferentes dispositivos de uso final tiene variaciones significativas a nivel regional. En el ámbito urbano existe un uso dominante de GLP y un mayor acceso a los dispositivos. Lo contrario ocurre en el ámbito rural, donde la leña es por mucho el principal combustible residencial con 72% del consumo total. Un 67% de las familias rurales sigue utilizando fogones de leña para cocinar, ya sea como combustible primario o secundario. En términos de regiones, en la zona norte del país se verifica un mayor acceso a los servicios energéticos, así como una mayor diversificación de los consumos relativos por uso final; además, en esta región es muy importante el consumo de electricidad dedicado a la climatización de viviendas. En contraste, la zona sur es la que presenta los mayores rezagos en lo que concierne al acceso a servicios energéticos; en el ámbito rural, el 86% del consumo corresponde a la cocción de alimentos, y la leña es el principal combustible. La zona centro se encuentra en una situación intermedia respecto al acceso y consumo de energía. Al trazar este panorama, cabe destacar que el nivel de acceso a algunos dispositivos de uso final y su consumo relativo no sólo está ligado a las condiciones de pobreza o ingresos de las familias, sino también a las condiciones geográficas. Ejemplo de lo anterior son las zonas tropicales, donde es mucho menor la necesidad de calentar el agua para baño que en las zonas frías.

Recomendaciones

En términos de políticas públicas, para beneficiar a la población más marginada y eliminar la pobreza energética este estudio resalta la importancia de contar con una desagregación de los consumos residenciales por usos finales, ámbitos y regiones, de modo que sea posible canalizar acciones estratégicas a donde más se necesiten. En particular, notamos que:

- Es imprescindible que las acciones de política pública den prioridad a impulsar la eficiencia energética y la sustitución de combustibles para los usos térmicos de la energía, ya que constituyen el 76% del consumo total.
- El calentamiento de agua representa un 31.4% del consumo de GLP. En la actualidad, este energético enfrenta una situación compleja en términos de precio y abasto, pues aproximadamente el 70% del consumo de GLP en México es importado (SIE, 2022). Una política agresiva de sustitución de boilers de gas por calentadores solares de agua tendría un enorme impacto en la resolución de dicha problemática, pues reduciría la presión por la demanda del energético y brindaría beneficios tanto ambientales —reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)— como sociales —el uso de tecnología nacional sustituiría importaciones de GLP—.
- La cocción con leña sigue siendo muy importante, pero es un uso que suele ser olvidado dentro del sector energético. La Encevi revela que el empleo de GLP no lleva necesaria ni mayoritariamente al reemplazo de leña, por lo que urgen acciones para mejorar la eficiencia en el uso de este último combustible. Esto es algo que se puede conseguir, por ejemplo, a través de estufas ecológicas de leña, con beneficios probados y documentados a través de numerosas experiencias en el país (IEA, 2017; IEA, 2020; INEGI, 2018).
- Los consumos residenciales de electricidad asociados al uso de aire acondicionado son muy altos en el norte de México (53% del total regional), por lo que se requiere una política de atención integral al problema de confort térmico. Esto implica no sólo impulsar el uso de equipos eficientes, sino promover el aislamiento térmico de las viviendas mediante la construcción bioclimática.

- Es importante terminar de electrificar el 100% de los poblados mexicanos por medio de sistemas integrados de energía renovable a pequeña escala, así como asegurar el acceso a electrodomésticos eficientes y asequibles para que un mayor número de hogares pueda salir de la pobreza energética.
- Por último, es imperativo conducir de manera periódica estudios sobre el uso de energía en los hogares. Urge en particular uno que incluya mediciones directas de los consumos por uso final, y que no sólo registre el acceso a los servicios energéticos.



Introducción





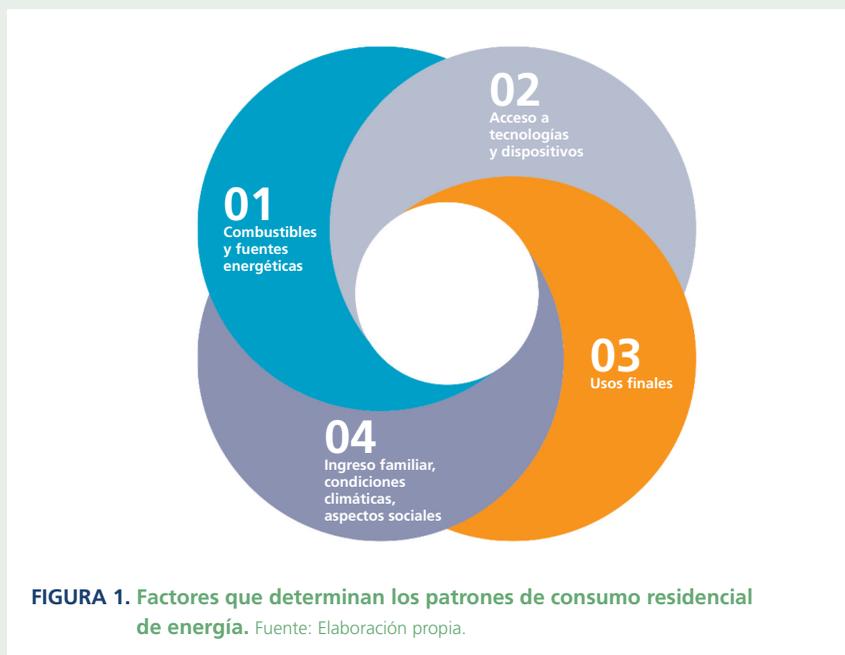
Introducción

A escala doméstica, la energía es un recurso indispensable para satisfacer tareas básicas como cocción, iluminación, refrigeración de alimentos, calentamiento de agua, confort térmico y entretenimiento. Por este motivo, garantizar el acceso a servicios energéticos eficientes y asequibles en las viviendas es imprescindible para asegurar el bienestar y el desarrollo humano, como lo establece el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 7 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU): “*garantizar el acceso a energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos*”. Además, el acceso a la energía contribuye a otros ocho de los diecisiete ODS (IEA, 2017): fin de la pobreza (ODS 1), hambre cero (ODS 2), salud y bienestar (ODS 3), educación de calidad (ODS 4), igualdad de género (ODS 5), trabajo creciente y crecimiento económico (ODS 8), industria, innovación e infraestructura (ODS 9) y ciudades y comunidades sostenibles (ODS 11).

Mientras que a nivel global el sector residencial representa el 21% del total de la energía consumida (IEA, 2020), en México constituye el 14.4% del consumo energético nacional (equivalente a 760 PJ) (Sener, 2019). Aproximadamente 11,093,000 hogares mexicanos, el 36.7% de la población, viven en situación de pobreza energética¹ (García-Ochoa y Graizbord, 2016).

¹ Las carencias en el acceso y uso de energía en la vivienda se relacionan directamente con la condición denominada *pobreza energética*. Ésta tiene lugar cuando las personas que habitan un hogar no son capaces de cubrir los requerimientos energéticos básicos, los cuales están relacionados con una serie de tecnologías, satisfactores y bienes económicos, de acuerdo a las convenciones sociales y culturales propias de cada lugar (García, 2014). Esta condición se manifiesta de diferentes formas: carencia de una o más tecnologías energéticas o bienes básicos para satisfacer las necesidades humanas fundamentales (García, 2011), falta de acceso a servicios energéticos modernos, falta de

La demanda residencial de energía está asociada con sus diferentes fines o usos finales. Estos son producto de factores como: las tecnologías empleadas para la transformación; el transporte y consumo de la energía; los requerimientos propios de cada lugar; la ubicación geográfica; el ingreso de las familias y el costo de la energía; y la fuente energética utilizada, entre otros (Figura 1). Analizar la demanda de energía bajo un enfoque de “uso final” nos permite entender de qué manera la población está cubriendo o no las necesidades que satisfacen los diferentes servicios energéticos, tomando en cuenta los consumos y fuentes asociados a tales servicios; más aún, este tipo de análisis hace posible identificar qué acciones son prioritarias para minimizar las brechas de acceso a servicios energéticos y para asegurar el uso eficiente de la energía.



confiabilidad cuando los servicios sí existen y preocupaciones acerca de la asequibilidad del acceso (IEA, 2017). Un acceso deficiente a energía limpia, segura y asequible en los hogares pone en riesgo el desarrollo humano, agudiza la pobreza existente, repercute en la calidad de vida y salud de las personas, aumenta el rezago, y se relaciona con otros procesos de marginación, como la migración y la violencia.

A nivel nacional no se conocen con detalle los usos finales de la energía en los hogares, las tecnologías que son empleadas para satisfacer estos usos ni las fuentes energéticas de donde provienen. Tanto los censos de población y vivienda como las encuestas de ingreso-gasto que publica con regularidad el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) brindan información importante pero parcial para resolver estas interrogantes. Por lo anterior, no se han identificado por completo los usos finales que representan un consumo mayoritario y que, por ende, deben ser prioridad en las estrategias nacionales y políticas públicas que involucren la sustitución de fuentes y tecnologías, la eficiencia energética y la mitigación de la pobreza energética. En este sentido, no fue sino hasta 2018 que la Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (Encevi) realizada por el INEGI permitió obtener una mayor desagregación sobre los equipos energéticos en las viviendas mexicanas y sobre su grado de cobertura o saturación por uso final. Sin embargo, esta encuesta no permitió identificar plenamente los datos de consumo energético en las viviendas.

El objetivo del presente trabajo es contribuir a resolver estas brechas de información por medio de un análisis integral del consumo de energía del sector residencial de México para 2018, desde un enfoque de uso final. El trabajo implicó el reprocesamiento de la Encevi para la obtención de las saturaciones de equipos domésticos en diferentes ámbitos y regiones, así como la estimación de los consumos unitarios de cada tecnología y electrodoméstico a partir de una revisión amplia de literatura. Se pretende que los resultados contribuyan a:

1. comprender mejor el papel de cada uso final en la matriz energética del sector residencial, lo cual permitirá identificar los puntos críticos en los que se deben enfocar y/o fortalecer las estrategias energéticas y políticas públicas del sector gubernamental;
2. identificar las zonas y sectores con menor acceso a servicios energéticos, con el fin de diseñar políticas para eliminar la pobreza energética en nuestro país.

Metodología





Metodología

La estimación de los patrones de consumo de energía se basó en la metodología de análisis por usos finales, la cual calcula los consumos por vivienda mediante la multiplicación de las saturaciones de los diferentes dispositivos utilizados para cada uso final por el consumo unitario de cada dispositivo. Específicamente, la metodología consistió en tres etapas, las cuales serán explicadas a mayor detalle en las siguientes secciones: (1) obtención de las saturaciones de equipos domésticos y uso de combustibles; (2) estimación de los consumos unitarios de las tecnologías energéticas; (3) estimación de los consumos energéticos totales en el sector residencial por región, por ámbito —urbano o rural— y a nivel nacional; y (4) análisis de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del sector residencial.

Saturaciones de equipos domésticos, acceso a tecnologías y uso de combustibles

El INEGI llevó a cabo en 2018 la Encevi con el objetivo de conocer los patrones de acceso a la energía de las viviendas en México (INEGI, 2018). Dicha encuesta estuvo diseñada para dar resultados con una cobertura geográfica nacional, con desagregación urbana y rural, dividiendo el área de estudio en tres regiones geográficas: (1) región cálida extrema (norte); (2) región templada (centro); y (3) región tropical (sur) (Figura 2). Las entidades federativas comprendidas en la región 1 son Baja California, Baja California Sur, Coahuila de Zaragoza, Chihuahua, Durango, Nuevo León, Sinaloa, Sonora y Tamaulipas; la región 2

abarca Aguascalientes, Colima, Ciudad de México, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tlaxcala y Zacatecas; y la región 3 está conformada por Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán.



La Encevi caracterizó el nivel de acceso de las familias mexicanas a los principales dispositivos energéticos en el hogar: estufas, calefactores, focos, televisores y refrigeradores, entre otros. A través de esta encuesta se logró identificar el nivel de equipamiento de las viviendas en las tres regiones, los tamaños de los equipos y los tipos de tecnologías. Además, se obtuvieron las saturaciones por cada equipo doméstico, es decir, el porcentaje de la población con acceso a las diferentes tecnologías y electrodomésticos utilizados en las viviendas mexicanas. Para este reporte hicimos un reprocesamiento de esta encuesta con el fin de obtener datos detallados sobre saturaciones y tipo de equipamiento por uso final, ámbito y región. Abajo se describe con detalle el procedimiento utilizado.

Estructura de la base de datos Encevi 2018

Tablas

La base de datos de la Encevi 2018 está conformada por 13 tablas que contienen información de las viviendas seleccionadas tanto de la Encuesta Nacional de los Hogares (ENH, 2018) como de la propia Encevi 2018. Las tablas se encuentran agrupadas en tres tipos: (a) tablas con información de las viviendas (once tablas); (b) tablas con información de los hogares (una tabla); y (c) tablas con información de las personas (una tabla). El presente análisis se llevó a cabo con base en nueve de las once tablas con información de las viviendas.

Tamaño de localidad

A partir del tamaño de localidad se deriva el ámbito urbano y rural. La Encevi 2018 divide a las localidades en cuatro categorías de acuerdo al tamaño de su población total (Tabla 2.1).

TABLA 2.1. Ámbito de las localidades de acuerdo a su tamaño.

| Ámbito | Descripción |
|---------------------------|--|
| Urbano alto | Localidades con 100 000 y más habitantes |
| Complemento urbano | Localidades con 15 000 a 99 999 habitantes |
| | Localidades con 2 500 a 14 999 habitantes |
| Rural | Localidades menores de 2 500 habitantes |

Fuente: Modificada de Encevi, 2018.

Unidades de análisis

Las unidades de análisis son las viviendas particulares habitadas dentro del territorio nacional, y la población objetivo son los hogares de dichas viviendas.

Análisis de saturaciones en el acceso a tecnologías, equipos domésticos y uso de combustibles y energéticos

El análisis de las saturaciones en el acceso a tecnologías y equipos domésticos se llevó a cabo mediante el software Stata/IC 15.1 ®. Este programa de análisis estadístico integral y manejo de datos permite el análisis de encuestas

tomando en cuenta sus características de diseño. Para el caso de la Encevi 2018, estas características son el factor de expansión —o pesos—, los *clusters* y el estrato.

Factor de expansión

La Encevi 2018 es una encuesta probabilística. Las viviendas seleccionadas y sus habitantes son representativos de otras viviendas y otros habitantes con características socioeconómicas similares. Por lo tanto, el factor de expansión es el peso que se le da a cada vivienda para extrapolar los resultados de la muestra al total de la población en el país. Si se omite indicar el factor de expansión en el análisis, se pueden provocar sesgos en la obtención de los estimadores, así como en el cálculo de los errores estándar.

Cluster

En el levantamiento de la mayoría de las encuestas, los individuos o unidades de análisis no son muestreados de manera independiente, sino que el muestreo se lleva a cabo en diferentes grupos o *clusters* (e.g. grupos de municipios, de manzanas o de viviendas).

Estrato

Diferentes grupos de *clusters* son muestreados de manera separada, y a éstos se les llama estratos. Los estratos están fijados *a priori* a partir del levantamiento de la encuesta, y son estadísticamente independientes. Para estimar de forma correcta los totales, proporciones y promedios de una encuesta es muy importante tomar en cuenta el factor de expansión, los clusters y la estratificación del diseño de la encuesta, en este caso de la Encevi 2018. La estratificación puede ser usada para obtener errores estándar más pequeños para el tamaño general de la muestra dado. Cada estimación de proporciones, totales y promedios sobre las variables de interés muestra su intervalo de confianza (95%).

Nivel de desagregación del análisis

La obtención de los estimadores —proporciones totales y promedios— se llevó a cabo a nivel nacional y regional —norte, centro y sur—, y, dado que la Encevi 2018 tiene una desagregación urbana y rural, se obtuvieron resultados para las siguientes subpoblaciones:

- Nacional
- Nacional urbano y rural
- Regional
- Regional urbano y rural

Dispositivos y tipos de combustibles analizados

Como se mencionó antes, se analizaron dispositivos y tipos de combustible de nueve de las once tablas disponibles en la Encevi 2018. En la Tabla 2.2 se muestran el tipo de pregunta y las opciones de respuesta considerados.

TABLA 2.2. Preguntas de la Encevi 2018 procesadas para este reporte.

| Uso final | Pregunta | Tipo pregunta | Dispositivo | Combustible |
|----------------|--|---------------------|-------------|--|
| Cocción | ¿El combustible que más usan para cocinar es? | Tipo de combustible | --- | Gas de cilindro Gas estacionario Gas natural o de tubería Electricidad Leña Carbón Otro combustible Ninguno |
| | ¿Qué otro combustible utiliza para cocinar o calentar alimentos? | Tipo de combustible | --- | Gas de cilindro Gas estacionario Gas natural o de tubería Electricidad Leña Carbón Otro combustible Ninguno |
| | Uso de estufa para cocinar o calentar alimentos | Usa / No usa | --- | --- |

| | | | | |
|------------------------|----------------------------|---------------------|--|-----|
| Cocción | Tipo de estufa | Tipo de dispositivo | De gas con encendido electrónico De gas con encendido manual (sin piloto) Eléctrica Ahorradora de leña De carbón con chimenea Otro tipo de estufa | --- |
| Iluminación | Número de focos usados | Total | --- | --- |
| | Focos fluorescentes | % del total | --- | --- |
| | Focos LED | % del total | --- | --- |
| | Focos Incandescentes | % del total | --- | --- |
| Refrigeración | Uso de refrigerador | Usa / No usa | --- | --- |
| | Capacidad del refrigerador | Tipo de dispositivo | Bar o compacto (menos de 6 ft ³) Pequeño (de 6 a 10 ft ³) Mediano (de 11 a 15 ft ³) Grande (de 16 a 20 ft ³) Extragrande (más de 20 ft ³) No sabe | |
| Lavado ropa | Uso de lavadora | Usa / No usa | --- | --- |
| Entretenimiento | Uso televisión | Usa / No usa | --- | --- |

| | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|---------------------|-----|---|
| Enfriamiento | Uso ventilador | Usa / No usa | --- | --- |
| | Uso aire acondicionado | Usa / No usa | --- | --- |
| Calefacción | Uso calefactor | Usa / No usa | --- | --- |
| | Tipo de calefactor | Tipo de dispositivo | --- | Eléctrico con aceite térmico Eléctrico de resistencia Eléctrico de torre De gas Otro tipo de calefactor (específica) No sabe |
| Calentamiento agua | Uso calentador de agua | Usa / No usa | --- | --- |
| | Combustible para calentador | Tipo de combustible | --- | Usa leña o carbón Usan gas Usan electricidad No calientan agua |
| | Tipo de calentador de agua | Tipo de dispositivo | --- | De gas con depósito De gas de rápida recuperación De gas instantáneo de paso Eléctrico instantáneo de paso Eléctrico con depósito De leña Solar Otro tipo de calentador (específica) |



| | | | | |
|------------------------|----------------------------------|---------------------|-----|---|
| Suministro agua | Uso bomba de agua | Usa / No usa | --- | --- |
| Otros | Uso Plancha | Usa / No usa | --- | --- |
| | Uso de otros electrodomésticos | Usa / No usa | --- | --- |
| | Tipo de electrodomésticos usados | Tipo de dispositivo | --- | Horno de microondas Licuadora Batidora Cafetera Tostador de pan o sandwichera Parrilla eléctrica u horno eléctrico Secadora de pelo Tenazas o plancha para el pelo Secadora de ropa Máquina de coser eléctrica |

Fuente: Modificada de Encevi, 2018.



Estimación de los consumos energéticos unitarios

A partir de la Encevi, se identificaron diez usos finales o servicios energéticos en el sector residencial: cocción de alimentos, iluminación, refrigeración, entretenimiento, lavado de ropa, enfriamiento de espacios, calefacción, calentamiento de agua, bombeo de agua y otros usos. “Otros usos” considera servicios energéticos provistos por diferentes dispositivos auxiliares en el hogar, como plancha de cabello, tenaza de cabello, secadora de cabello, secadora de ropa, plancha de ropa, batidora, cafetera y licuadora. Cabe mencionar que los usos relacionados con equipos de cómputo, celulares, impresoras, tabletas, estéreos y radios, entre otros, no fueron incluidos en el presente análisis. La Tabla 2.3 presenta los dispositivos y combustibles considerados para cada uno de los usos finales identificados.

TABLA 2.3. Usos finales y dispositivos considerados.

| Uso final | Dispositivo | Combustible |
|--------------------------|---------------------------------|------------------|
| Cocción | Estufa ¹ | GLP ² |
| | | GN ³ |
| | Estufa eléctrica | Electricidad |
| | Estufa ahorradora de leña | Leña |
| | Fogón abierto | Leña |
| | Estufa con chimenea | Carbón vegetal |
| Iluminación ² | Horno de microondas | Electricidad |
| | Focos ahorradores fluorescentes | Electricidad |
| | Focos incandescentes | Electricidad |
| | Focos ahorradores LED | Electricidad |

| | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| Refrigeración | Refrigerador | Electricidad |
| Lavado de ropa | Lavadora | Electricidad |
| Entretenimiento | Televisión ⁴ | Electricidad |
| Enfriamiento⁵ | Ventilador | Electricidad |
| | Aire acondicionado | Electricidad |
| Calefacción⁶ | Calefactor de gas | GLP ² |
| | Calefacción de leña | Leña |
| | Calefactor eléctrico ⁷ | Electricidad |
| Calentamiento de agua | Calentador de gas ⁸ | GLP ² |
| | Calentador eléctrico ⁹ | Electricidad |
| | Boiler de leña | Leña |
| | Calentador solar | Solar |
| Suministro de agua | Bomba de agua | Electricidad |
| Otros | Licuadaora | Electricidad |
| | Plancha | Electricidad |
| | Horno de microondas | Electricidad |
| | Batidora | Electricidad |
| | Cafetera | Electricidad |
| | Tostador eléctrico / sandwichera | Electricidad |
| | Parrilla eléctrica / horno eléctrico | Electricidad |
| | Secadora de cabello | Electricidad |
| | Tenazas / plancha de cabello | Electricidad |
| | Secadora de ropa | Electricidad |
| | Máquina de coser | Electricidad |

Notas: ¹ Incluye estufa de gas LP y gas natural. ² Gas licuado de petróleo (GLP): incluye gas estacionario y gas de cilindro. ³ Gas natural (GN). ⁴ Se consideró que la proporción de habitantes con acceso a energía eléctrica tenía a su vez acceso a iluminación. ⁵ Televisión de color de 19-21 in. ⁶ Se asume que los dispositivos para enfriamiento sólo se utilizan en los meses de junio y julio (Sener, 2011) ⁷ Se asume que los dispositivos para calefacción sólo se utilizan en los meses de diciembre y enero (Sener, 2011). ⁸ Incluye calefactor eléctrico con aceite térmico, eléctrico de resistencia y eléctrico de torre. ⁹ Incluye calentador de gas con depósito, de gas de rápida recuperación y de gas instantáneo de paso. ¹⁰ Incluye calentador eléctrico instantáneo de paso y eléctrico con depósito.

La Tabla 2.4 resume los supuestos considerados para la estimación de los consumos unitarios. El consumo energético unitario se consideró como una función del contenido energético del combustible, datos demográficos de la vivienda, el tiempo promedio de uso por dispositivo y la potencia de cada uno de éstos, según el caso. Debido a la falta de información detallada sobre consumos energéticos por dispositivo, se asumió un valor promedio de consumo unitario para todo el país. Más adelante se deberán hacer estimaciones de consumos regionales, ya que hay diferencias importantes según el tipo de localidad o región.

TABLA 2.4. Supuestos considerados por equipo y uso final.

| Concepto | Datos | Unidad | Referencia |
|---|-------|-------------------------------|-------------------------|
| GENERAL | | | |
| <i>Contenido energético</i> | | | |
| Leña | 16 | MJ·kg ⁻¹ | (Berrueta et al., 2008) |
| Carbón vegetal | 27 | MJ·kg ⁻¹ | (Sener, 2019) |
| GLP | 50 | MJ·kg ⁻¹ | (Sener, 2019) |
| GN | 40 | MJ·m ⁻³ | (Sener, 2019) |
| <i>Ocupación en la vivienda</i> | | | |
| Región norte | 3.40 | hab·vivienda ⁻¹ | (INEGI, 2016) |
| Región centro | 3.61 | hab·vivienda ⁻¹ | (INEGI, 2016) |
| Región sur | 3.60 | hab·vivienda ⁻¹ | (INEGI, 2016) |
| Nacional | 3.60 | hab·vivienda ⁻¹ | (INEGI, 2016) |
| USOS FINALES | | | |
| <i>Cocción</i> | | | |
| Potencia promedio estufa eléctrica | 4,000 | W | (Sener, 2011) |
| Tiempo de uso promedio estufa eléctrica | 360 | h·año ⁻¹ | (Sener, 2011) |
| Consumo promedio estufa G LP | 150 | kg·vivienda·año ⁻¹ | (Sener, 2011) |

| | | | | |
|--|-----------|-------|--|-------------------------|
| Consumo promedio estufa de GN | | 73 | m ³ ·vivienda·año ⁻¹ | (Sener, 2011) |
| Potencia promedio horno de microondas | | 1,200 | W | (Sener, 2011) |
| Tiempo de uso promedio horno de microondas | | 60 | h·año ⁻¹ | (Sener, 2011) |
| Consumo de leña en estufa ahorradora | Exclusivo | 1.4 | kg per cap.·día ⁻¹ | (Berrueta et al., 2008) |
| | Mixto | 1.0 | kg per cap.·día ⁻¹ | (Berrueta et al., 2008) |
| Consumo de leña en fogón abierto | Exclusivo | 2.1 | kg per cap.·día ⁻¹ | (Berrueta et al., 2008) |
| | Mixto | 1.4 | kg per cap.·día ⁻¹ | (Berrueta et al., 2008) |
| Ahorro de gas en usuarios mixtos | | 30 | % | E.A. ¹ |
| Consumo de carbón vegetal en estufa con chimenea | | 1.0 | kg per cap.·día ⁻¹ | (Berrueta et al., 2008) |
| Consumo de carbón vegetal uso tradicional | | 1.4 | kg per cap.·día ⁻¹ | (Berrueta et al., 2008) |

Iluminación

| | | | | |
|---|--|-----|--------|---------------|
| Potencia promedio foco ahorrador fluorescente | | 15 | W | (Sener, 2011) |
| Potencia promedio foco incandescente | | 60 | W | (Sener, 2011) |
| Potencia promedio foco LED | | 9 | W | (Sener, 2011) |
| Horas promedio de uso focos ² | | 2.8 | h/foco | (INEGI, 2018) |

Entretenimiento

| | | | | |
|---------------------------|--|---------|---------------------|---------------|
| Tamaño TV | | 19 a 21 | pulgadas | |
| Potencia promedio TV | | 70 | W | (Sener, 2011) |
| Tiempo de uso promedio TV | | 2,160 | h·año ⁻¹ | (Sener, 2011) |

| Refrigeración | | | | |
|--|--|---------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| Factor de uso | | 0.33 | - | (Sener, 2011) |
| Potencia promedio refrigerador <6 ft ³ | | 289 | W | (CFE, 2018) |
| Potencia promedio refrigerador 6-10 ft ³ | | 305 | W | (CFE, 2018) |
| Potencia promedio refrigerador 11-15 ft ³ | | 720 | W | (CFE, 2018) |
| Potencia promedio refrigerador 16-20 ft ³ | | 840 | W | (CFE, 2018) |
| Potencia promedio refrigerador >20 ft ³ | | 1,080 | W | (CFE, 2018) |
| Tamaño refrigerador | | Variable por región | - | (INEGI, 2018) |
| Lavado de ropa | | | | |
| Potencia promedio lavadora | | 400 | W | (Sener, 2011) |
| Tiempo de uso promedio lavadora | | 324 | h·año ⁻¹ | (Sener, 2011) |
| Aire acondicionado y enfriamiento | | 240 | h | (Sener, 2011) |
| Potencia promedio ventilador | | 60 | W | (Sener, 2011) |
| Tiempo de uso promedio ventilador | | 480 | h·año ⁻¹ | (Sener, 2011) |
| Potencia promedio aire acondicionado | | Variable por tipo de tecnología | - | (Sener, 2011; Masera et al., 1993) |
| Tiempo de uso promedio aire acondicionado | | Variable por región | - | (INEGI, 2018) |
| Calefacción | | | | |
| Potencia promedio calefactor eléctrico | | 1500 | W | (Sener, 2011) |
| Horas de uso promedio calefactor eléctrico | | 240 | h·año ⁻¹ | (Sener, 2011) |

| | | | | |
|---|--|--------|--|-----------------------|
| Consumo promedio calefactor (GLP) | | 361 | kg· vivienda·año ⁻¹ | (Sener, 2011) |
| Consumo calefactor leña | | 1 | kg· per cap··día ⁻¹ | E.A. ¹ |
| Calentamiento de agua | | | | |
| Potencia promedio calentador eléctrico | | 3,500 | W | (Sener, 2011) |
| Tiempo de uso promedio calentador eléctrico | | 360 | h·año ⁻¹ | (Sener, 2011) |
| Área promedio calentador solar de agua (CSA) por vivienda | | 2.4 | m ² | (Sener, 2019) |
| % Usuarios exclusivos de CSA | | 30 | % | E.A. ¹¹ |
| % Tiempo que entra el calentador de gas como respaldo en usuarios no exclusivos | | 40 | % | E.A. ¹¹ |
| Rendimiento promedio CSA | | 0.5 | - | (Sener, 2019) |
| Radiación solar promedio | | 21,132 | kJ/m ² día | (Sener, 2019) |
| Consumo promedio bóiler de leña | | 1.1 | kg per cap··día ⁻¹ | (Masera et al., 1993) |
| Consumo promedio calentador GLP | | 186.7 | kg vivienda·año ⁻¹ | (GIZ, 2017) |
| Consumo promedio calentador GN | | 327.7 | m ³ ·vivienda·año ⁻¹ | (Sener, 2011) |
| Suministro de agua | | | | |
| Potencia promedio bomba de agua | | 400 | W | (Sener, 2011) |
| Tiempo de uso promedio bomba de agua | | 96 | h·año ⁻¹ | (Sener, 2011) |
| Otros | | | | |
| Potencia promedio licuadora | | 350 | W | (Sener, 2011) |

| | | | | |
|--|--|-------|---------------------|---------------|
| Tiempo de uso promedio licuadora | | 36 | h-año ⁻¹ | (Sener, 2011) |
| Potencia promedio plancha | | 1,000 | W | (Sener, 2011) |
| Tiempo de uso promedio plancha | | 144 | h-año ⁻¹ | (Sener, 2011) |
| Potencia promedio tenazas / plancha | | 1,600 | W | (CFE, 2018) |
| Tiempo de uso promedio tenazas / plancha | | 60 | h-año ⁻¹ | (CFE, 2018) |
| Potencia promedio secadora de ropa | | 5,600 | W | (CFE, 2018) |
| Tiempo de uso promedio secadora de ropa | | 192 | h-año ⁻¹ | (CFE, 2018) |
| Potencia promedio máquina de coser | | 125 | W | (CFE, 2018) |
| Tiempo de uso promedio máquina de coser | | 192 | h-año ⁻¹ | (CFE, 2018) |

PRODUCCIÓN ENERGÉTICA

Módulos fotovoltaicos

| | | | | |
|---|--|------|---------------------|---------------|
| Horas promedio de insolación | | 4.8 | h-día ⁻¹ | (Sener, 2019) |
| Capacidad instalada por vivienda | | 5.6 | kWp | (GIZ, 2017) |
| Rendimiento promedio sistemas aislados | | 0.67 | - | (Sener, 2019) |
| Rendimiento promedio sistemas interconectados | | 0.86 | - | (Sener, 2019) |
| Rendimiento promedio sistemas interconectados | | 0.86 | - | (Sener, 2019) |

Notas: ¹ Estimación asumida para el análisis (E.A.). ² Las horas promedio de uso por foco utilizadas en el análisis son variables de acuerdo a cada región y ámbito. Este dato sólo muestra el promedio nacional.



El consumo energético unitario de cada dispositivo listado en la Tabla 2.3 se estimó de acuerdo al tipo de energía requerida por cada uno de ellos, así como bajo los supuestos y consideraciones mencionados en la Tabla 2.4:

a. Consumos energéticos de dispositivos eléctricos.

Para los dispositivos que consumen energía eléctrica, se estimó el consumo energético unitario de acuerdo a (Ec. 1):

(1)

$$E_{Ei} = P_i \cdot t_i \cdot 3.6$$

Donde:

E_{Ei} : consumo de energía eléctrica del dispositivo i (kJ·dispositivo⁻¹·año⁻¹).

P_i : potencia promedio del dispositivo i (W).

t_i : tiempo de uso promedio anual por vivienda del dispositivo i (h·año⁻¹).

b. Consumos energéticos de dispositivos que consumen gas, leña y carbón vegetal.

El consumo energético para aquellos dispositivos que consumen GLP, GN, leña y carbón vegetal fue estimado de la siguiente manera:

(2)

$$E_{ck} = C_{p_{ck}} \cdot H_v \cdot PCN_c$$

Donde:

E_{c_k} : consumo de energía anual en el dispositivo k usando el combustible c ($\text{kJ} \cdot \text{dispositivo} \cdot \text{año}^{-1}$).

Cp_{ck} : consumo per cápita del combustible c en el dispositivo k ($\text{kg} \cdot \text{per cap} \cdot \text{año}^{-1}$).

H_j : número de habitantes por vivienda.

PCN_c : poder calorífico neto del combustible c ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Patrones de consumo energético del sector residencial

Una vez obtenidos las saturaciones y los consumos unitarios de cada uno de los equipos domésticos, se procedió a estimar el consumo energético de cada una de las regiones —norte, centro y sur—, así como de los ámbitos urbano y rural. Para esto se utilizó la metodología de análisis por usos finales, que estima los consumos por vivienda mediante la multiplicación de las saturaciones de los diferentes dispositivos utilizados para cada uso final por el consumo unitario de cada dispositivo. Los patrones regionales, por ámbito —urbano y rural— y nacional se estimaron de acuerdo a la Ec. 3:

$$C_{Rj} = \sum_{i=1}^{24} A_j S_{ij} E_{Ei} + \sum_{k=1}^{13} A_j S_{kj} C_{ck} \quad (3)$$

Donde:

C_{Rj} : consumo energético anual del sector residencial de la región j ($\text{GJ} \cdot \text{año}^{-1}$).

A_j : población total de la región j (número de habitantes).

S_{ij} : saturación del dispositivo i en la región j (%).

E_{Ei} : consumo unitario de energía eléctrica del dispositivo i ($\text{GJ} \cdot \text{dispositivo} \cdot \text{año}^{-1}$).

S_{kj} : saturación del dispositivo k en la región j (%).

C_{ck} : consumo de energía anual en el dispositivo k usando el combustible c ($\text{GJ} \cdot \text{dispositivo} \cdot \text{año}^{-1}$).

Análisis de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del sector residencial

Para la estimación de las emisiones de GEI del sector residencial, se utilizó la metodología del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés; 1996) (categoría 1A4). Se consideró un potencial de calentamiento global (PCG) a 20 años, y se consideraron los factores de emisión para los diferentes combustibles expresados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) en 2015 y por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (Conuee) en 2019. Los factores de emisión estimados para la operación de los dispositivos no incluyen las emisiones asociadas a la manufactura de los equipos o del ciclo de vida del combustible. Para las emisiones de CO₂ asociadas al consumo de leña y el carbón vegetal, se asumen dos escenarios:

- a. Su aprovechamiento es totalmente renovable, por lo que su emisión de CO₂ es cero, ya que los bosques absorben este gas en su fase de crecimiento.
- b. Su aprovechamiento es 34% NO renovable (Serrano et al. 2018), por lo que las emisiones totales deben afectarse por este factor. Este factor se toma de un estudio muy completo que se realizó comparando los patrones de extracción de leña para uso doméstico con la oferta de recursos forestales a escala municipal, obteniendo el coeficiente de 34%, lo que indica que el 76% de la leña consumida en el país es sustentable.

Resultados y discusión





Resultados y discusión

Acceso a tecnologías y equipos domésticos

El nivel de acceso a los diferentes electrodomésticos y tecnologías de uso final presenta una gran variación tanto a nivel nacional y regional como en los ámbitos urbano y rural. En una escala nacional, incluyendo el ámbito urbano y rural, algunos usos presentan un acceso casi universal, como la iluminación (99.8%), y otros un acceso muy alto, como el entretenimiento (89%) y la refrigeración (86%). Sin embargo, otros usos presentan rezagos significativos: lavado de ropa (67%), calentamiento de agua (32%), enfriamiento de espacios (53% para ventilador y 18% para aire acondicionado) y calefacción (5%) (Figura 3).

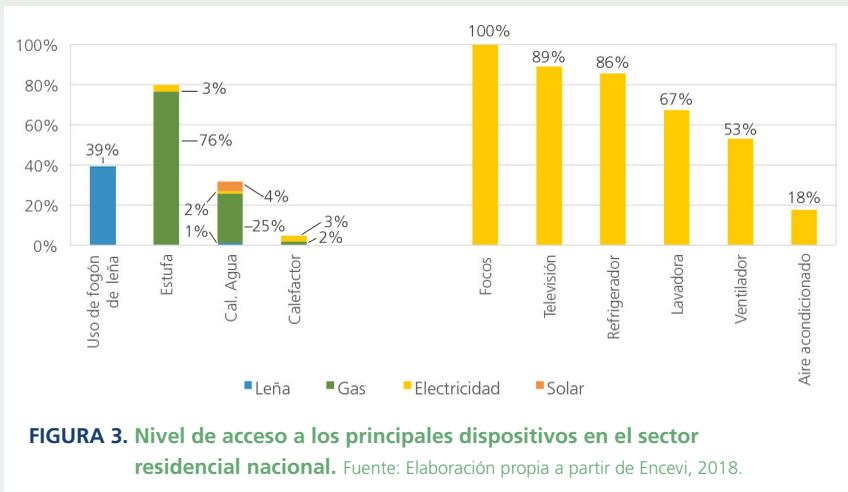


FIGURA 3. Nivel de acceso a los principales dispositivos en el sector residencial nacional. Fuente: Elaboración propia a partir de Encevi, 2018.

Un caso muy interesante es la cocción pues se observa un uso múltiple de tecnologías. De manera agregada, casi un 80% de las familias tiene estufa — mayoritariamente de gas—. Ahora bien, un 40% cocina con leña, ya sea de manera exclusiva o mixta — 20% usa leña como energético principal y 20% usa GLP—. De ese 40%, sólo el 1% usa la leña en dispositivos eficientes. Este empleo múltiple de tecnologías o hibridación tecnológica se registra para usos como el enfriamiento, calentamiento de agua, calefacción e iluminación.

Las Figuras 4 y 5 presentan las saturaciones de las principales tecnologías en los ámbitos urbano y rural, así como las fuentes utilizadas para satisfacerlas. Como puede observarse, las zonas rurales del país aún no cuentan con un nivel de acceso equiparable con la media nacional, lo cual habla de una distribución inequitativa de las tecnologías energéticas en el territorio mexicano. Cabe destacar que el acceso a tecnologías energéticas limpias y asequibles está relacionado de manera directa con el ingreso económico de las familias (Jeuland et al., 2021). Es decir, las condiciones de pobreza en las que vive una gran parte de las comunidades rurales y urbanas del país limitan el acceso a muchas tecnologías energéticas eficientes con repercusiones negativas en la calidad de vida y salud de las personas, aumentando su rezago y contribuyendo a otros procesos de marginación social.

En este sentido, se debe destacar que los fogones de leña siguen siendo utilizados con frecuencia en el país. Las estufas de gas, particularmente en el ámbito rural, no han llevado a un reemplazo total de los fogones, sino a un uso combinado. Prueba de ello es que, de los 28 millones de usuarios de leña en el país, 19.3 millones usan este combustible como complemento a algún otro.

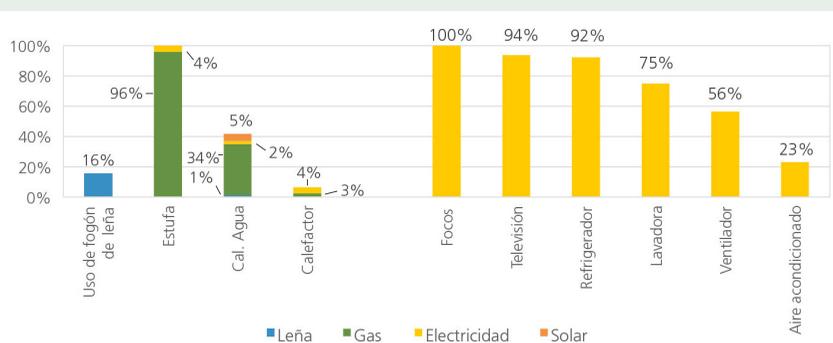


FIGURA 4. Nivel de acceso a los principales dispositivos en el ámbito urbano residencial. Fuente: Elaboración propia a partir de Encevi, 2018.

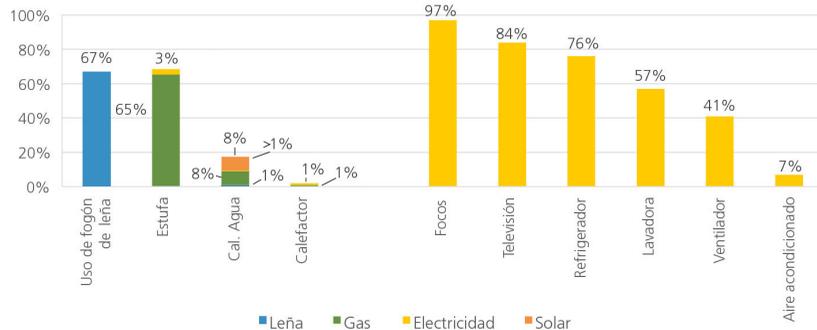


FIGURA 5. Nivel de acceso a los principales dispositivos en el ámbito rural residencial. Fuente: Elaboración propia a partir de Encevi, 2018.

Ahora bien, el nivel de acceso a los dispositivos también presenta diferencias en cada región del país. El sur del país es el que mayor uso de leña tiene y el que más rezagado (con excepción del ventilador y el aire acondicionado) se encuentra respecto al acceso a las diferentes tecnologías, tanto en su ámbito rural (Fig. 6a) como en el ámbito urbano (Fig. 6b).

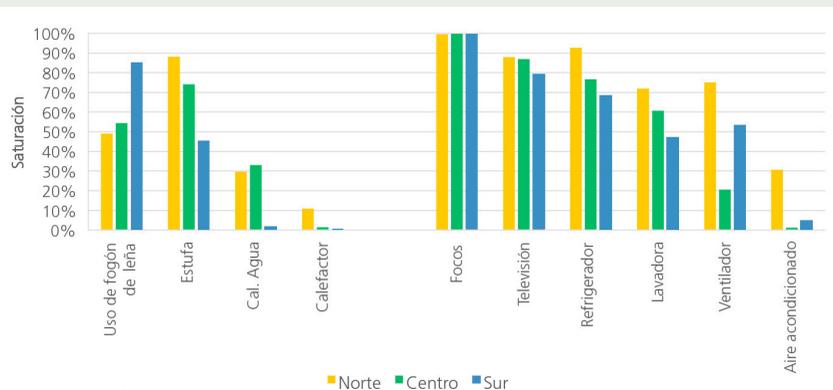
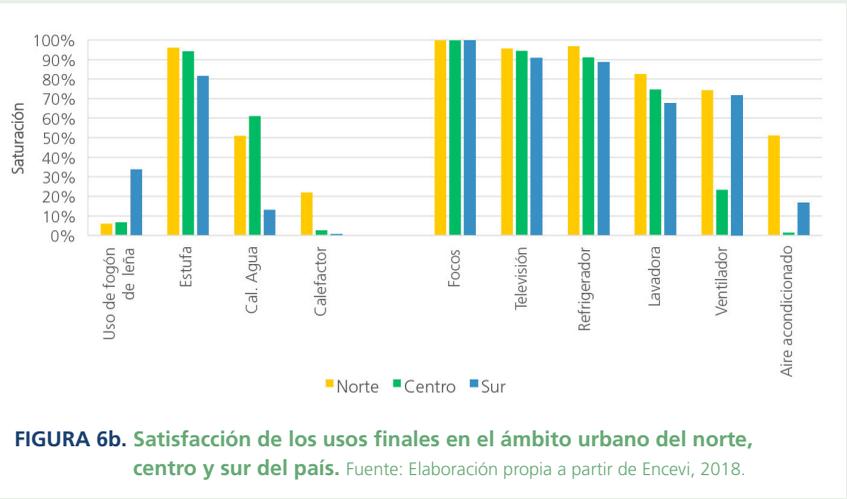


FIGURA 6a. Satisfacción de los usos finales en el ámbito rural del norte, centro y sur del país. Fuente: Elaboración propia a partir de Encevi, 2018.



Consumos unitarios por uso final

El consumo energético anual de cada dispositivo fue estimado asumiendo diferentes parámetros, como horas promedio de uso y potencia. La Figura 7 presenta el consumo unitario promedio de energía de los diferentes dispositivos de uso final considerados en el análisis. Se puede observar que hay una gran variabilidad en los consumos. Cabe destacar que dichos consumos pueden variar en función del tipo de tecnología en particular que se está utilizando, su eficiencia energética, el tiempo y los patrones de uso, el clima y el número de ocupantes por vivienda, entre otros.

Para los usos eléctricos, existe también una gran disparidad entre los consumos, con variaciones que van desde más de 1400 kWh/año para la cocción eléctrica —se asumieron aquí estufas de resistencia, ya que las de inducción no son tan comunes todavía— y para el aire acondicionado, pasando por 300-600 kWh·año⁻¹ para diferentes tipos de refrigeradores, hasta menos de 100 kWh/año para licuadoras, ventiladores y otros usos.

Los consumos unitarios de los dispositivos que satisfacen usos térmicos —vía GLP, GN, leña y/o carbón vegetal— se ven también afectados por los patrones de uso, los combustibles disponibles y la calidad de éstos, así como por

el clima y la temperatura ambiental, entre otros. Aquí existen también grandes diferencias por uso final y tecnología. Los mayores consumos unitarios se asocian a los fogones de leña para cocinar (entre 8 y 12 GJ/cap/año) y los menores a las estufas de gas (1-2 GJ/cap/año). En el rango intermedio están los consumos asociados a calefactores de gas y estufas ahorradoras de leña (5-8 GJ/cap/año).

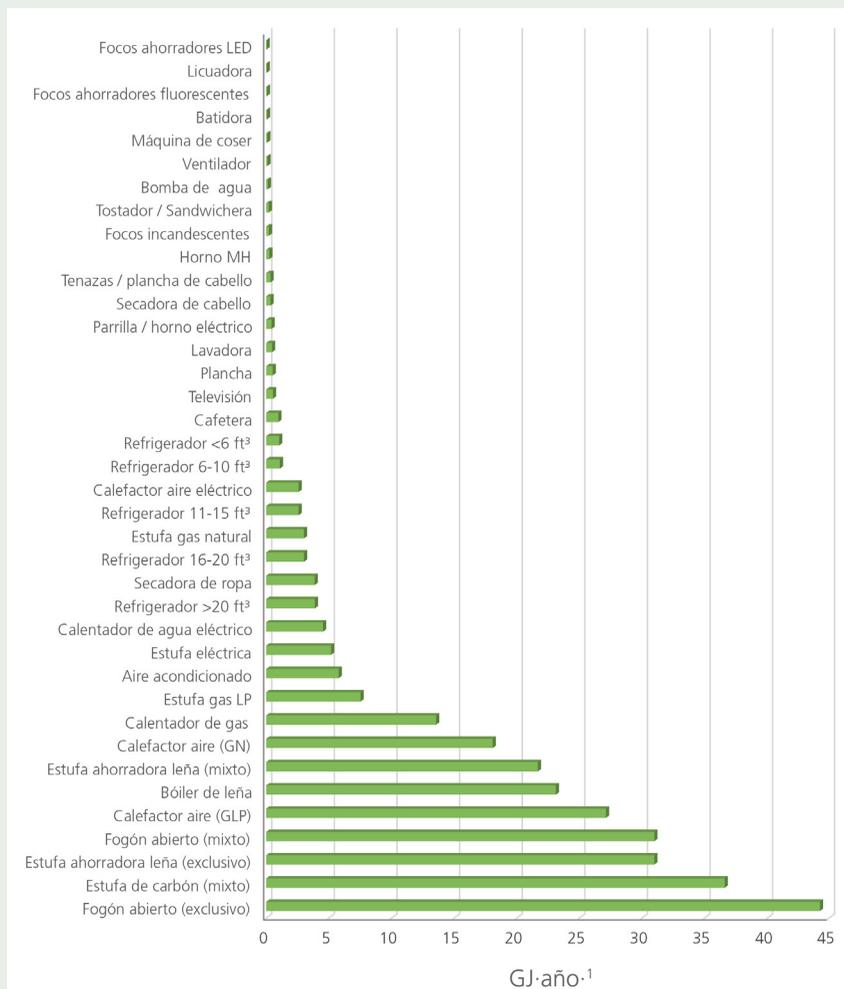
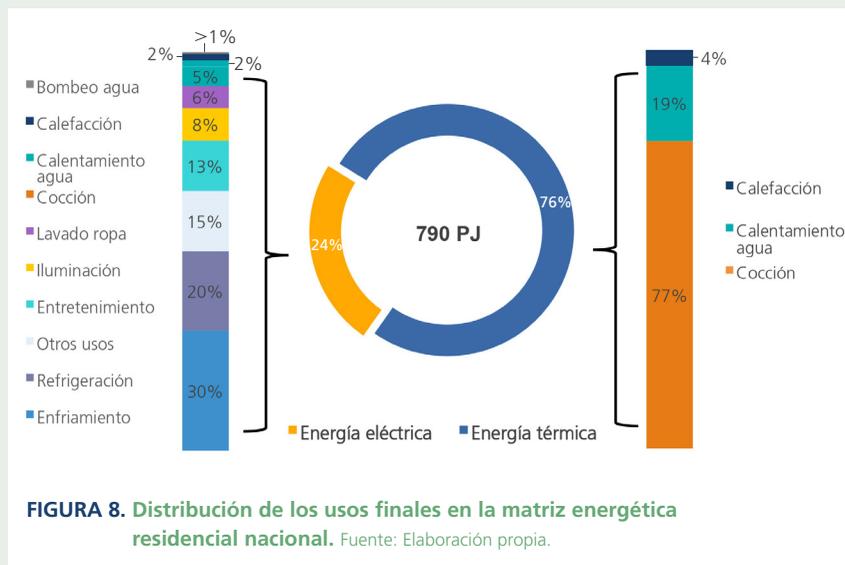


FIGURA 7. Consumo de energía anual por dispositivo. Fuente: Elaboración propia con datos de CFE, 2018; Masera et al., 1993; GIZ, 2017; Jeuland et al., 2021; García, 2014.

Patrón de consumo energético del sector residencial

Usos finales de la energía

Consumo a nivel nacional



Tomando en cuenta los consumos unitarios y la saturación de cada dispositivo para cada uso final, se estimó un consumo de energía del sector residencial nacional de 790 PJ para 2018, del cual el 76% corresponde a energía térmica y el 24% restante a energía eléctrica (Figura 8). El consumo nacional también considera los usos denominados “otros usos” y “bombeo de agua”; el primero de ellos describe los dispositivos listados en la Tabla 2.3. Pese a que el “bombeo de agua” sólo contribuye con el 1% en el consumo nacional del sector residencial, se añade para fines informativos.

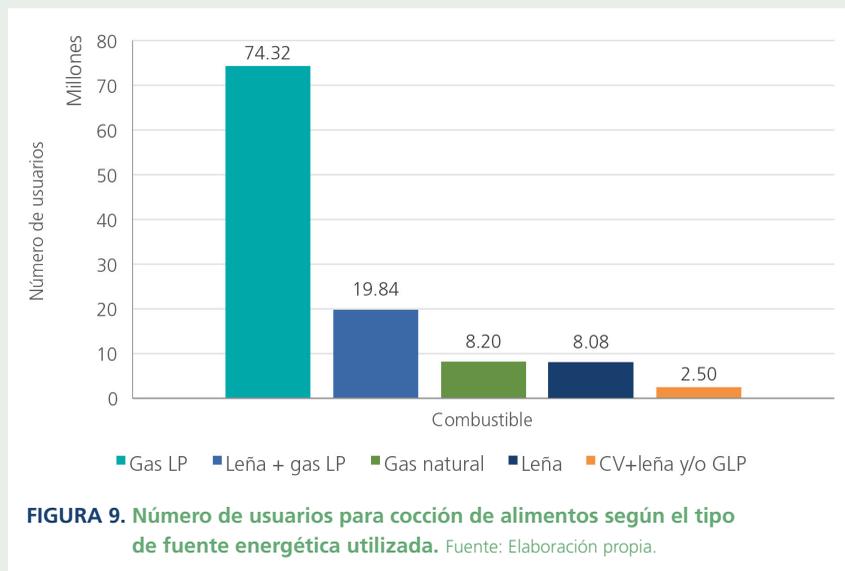
La cocción fue el uso final con mayor demanda anual de energía (469 PJ), seguida por calentamiento de agua (120 PJ), aire acondicionado y enfriamiento de espacios (57 PJ), refrigeración de alimentos (38 PJ), otros usos (29 PJ), calefacción (26 PJ), entretenimiento (24 PJ), iluminación (16 PJ), lavado de ropa

(11 PJ) y bombeo de agua (1 PJ). Se identificó que, en muy pocas viviendas, el calentamiento de agua y la cocción son satisfechos también con energía eléctrica como fuente principal de energía.

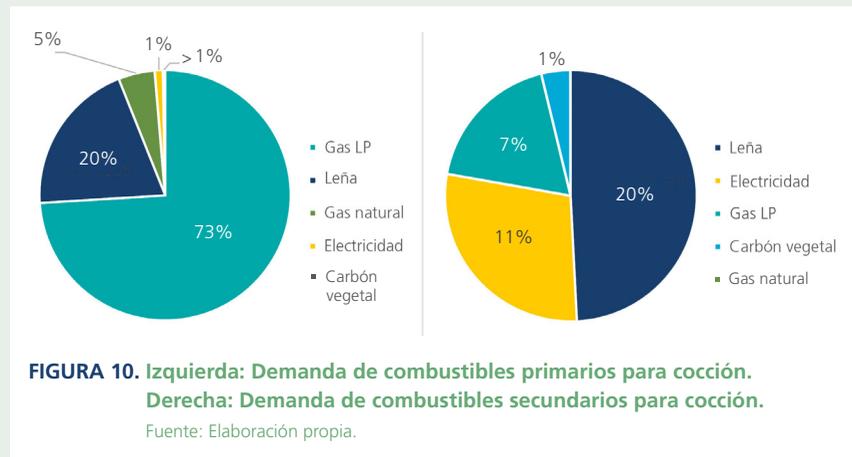
Por su relevancia en el consumo energético y la complejidad de su dinámica, analizaremos con más detalle la cocción, el calentamiento de agua, la refrigeración y el enfriamiento de espacios.

a. Cocción

La cocción fue el uso final que más energía consume de todos los analizados para el sector residencial (469 PJ: 460 PJ correspondientes a energía térmica y 9 PJ a energía eléctrica). Como se mencionó en la sección 3.1, en este uso se observa un empleo múltiple de tecnologías y combustibles para proveer energía a las viviendas. En total se identificaron cinco posibilidades para satisfacer la cocción: (1) uso exclusivo de GLP, (2) uso exclusivo de GN, (3) uso exclusivo de leña, (4) uso mixto de leña y GLP, (5) uso mixto de carbón vegetal (CV) con leña y/o GLP (Figura 9).



El gas LP es el combustible más utilizado por las familias mexicanas para satisfacer el uso final de cocción (73% de las familias lo utilizan como combustible primario y un 7% como combustible secundario). Sin embargo, le sigue la leña con un 20% como combustible primario y es el principal combustible secundario con un 20% (Figura 10).



La importancia de la leña también puede observarse en la Tabla 3.3, ya que casi 28 millones de mexicanos (ubicados en aproximadamente 7.75 millones de viviendas) cocinan con dicho combustible. Sin embargo, el número de usuarios de estufas ahorradoras de leña reportado en la Encevi a nivel nacional fue a 423,291 (equivalente a 114,403 dispositivos). Esto significa que sólo el 1% de los usuarios de leña logra emplearla de manera eficiente en un dispositivo seguro. Lo anterior no sólo tiene implicaciones energéticas, sino también efectos negativos en el medio ambiente y en la salud de los usuarios. Las partículas emitidas por la combustión incompleta en los fogones abiertos y otras tecnologías ineficientes contribuyen a enfermedades de las vías respiratorias, como neumonía, infartos, enfermedad isquémica del corazón, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), y cáncer de pulmón (Prüss-Ustún et al., 2016; Smith et al., 2004). Estos resultados resaltan la urgencia de promover dispositivos más eficientes para el uso de leña que reporten beneficios ambientales, económicos, energéticos y de salud pública.

TABLA 3.3 Número de usuarios de leña exclusivos y mixtos

| | Uso exclusivo | Uso mixto (leña + gas LP) | Uso leña total (exclusivo y mixto) |
|--|---------------|------------------------------|--|
| NÚMERO TOTAL DE USUARIOS | 8,076,382 | 19,839,744 | 27,916,126 |
| Combustión en estufa ahorradora | 39,618 | 383,674 | 423,291 |
| Combustión en fogones | 8,036,765 | 19,456,071 | 27,492,835 |

b. Calentamiento de agua

Se estima que este uso requiere de 120 PJ anuales y representa el 15% del consumo energético nacional. Pese a su relevancia —y seguramente también debido al menor requerimiento energético para calentar el agua para baño en las zonas cálidas—, el 57% de las viviendas del país no usa ningún tipo de calentador de agua. La energía térmica necesaria para calentar el agua es satisfecha de las siguientes maneras: (1) uso exclusivo de gas LP (GLP); (2) uso exclusivo de gas natural (GN) (3) uso exclusivo de colectores solares de agua (CSA); (4) uso de CSA y GLP; (5) uso de CSA y GN (Figura 11).

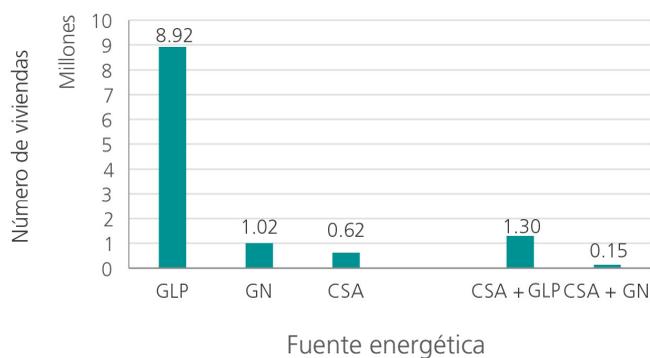
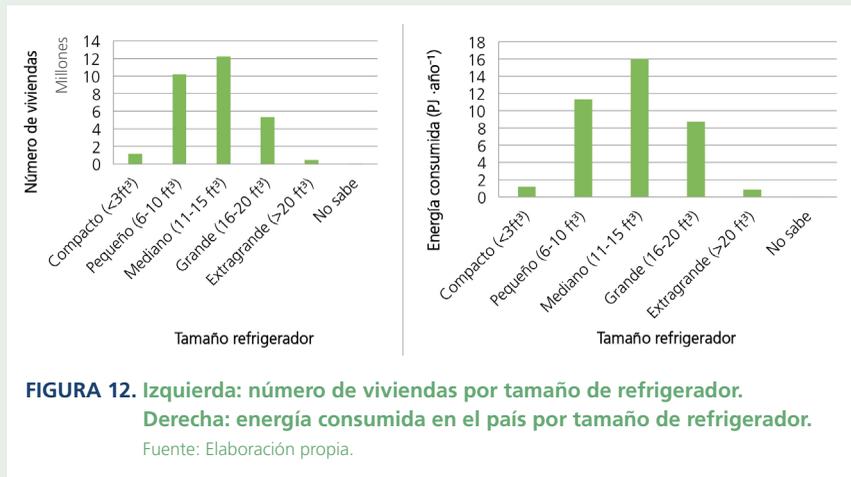


FIGURA 11. Número de viviendas para el calentamiento de agua según el tipo de fuente energética utilizada. Fuente: Elaboración propia.

c. Refrigeración

La refrigeración fue uno de los usos eléctricos de mayor contribución a la matriz de consumo energético residencial nacional, representando el 5% del consumo total de energía y el 20% del consumo total de energía eléctrica. El consumo energético familiar para refrigeración guarda una estrecha relación con el tamaño de refrigerador que utilicen las familias, ya que, a mayor tamaño de refrigerador, el consumo unitario de energía aumenta. Esto se refleja en el consumo total nacional, donde se ve que mientras la mayoría de las familias tiene refrigeradores pequeños y medianos, el consumo total nacional proviene en su mayor parte de refrigeradores medianos y grandes (Figura 12).



d. Enfriamiento de espacios

El enfriamiento de espacios es un uso que considera los equipos de ventilación y aire acondicionado (AC), siendo este último el equipo que mayor impacto tuvo en el consumo de energía final de esta categoría. Este uso generó un consumo de 57 PJ a nivel nacional y representó un 7% del total del consumo energético del sector residencial, y alcanzó casi el 30% del consumo de electricidad.

Dado que el AC constituye el consumo de energía mayoritario de este uso final, se discutirá a mayor profundidad en lo que resta de la sección. De acuerdo con la Encevi (INEGI, 2018), las familias que cuentan con AC lo utilizan, en promedio, 7,458 horas al día. Sin embargo, como se muestra en la Figura 13, el AC es usado con mucho mayor frecuencia en la región norte. Respecto a los ámbitos urbano y rural, se observa un tiempo de uso similar.

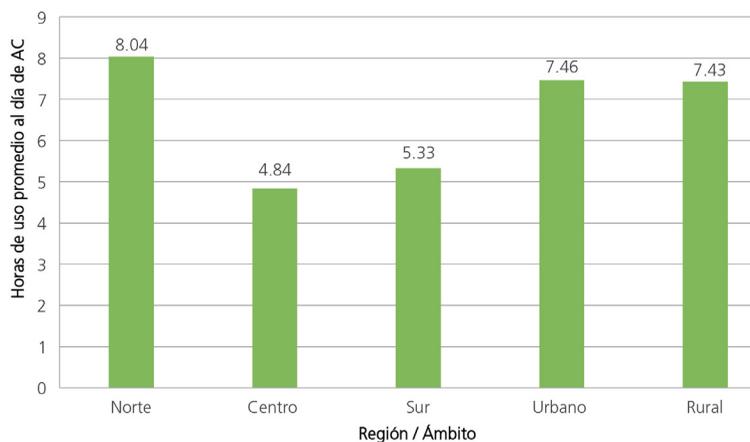
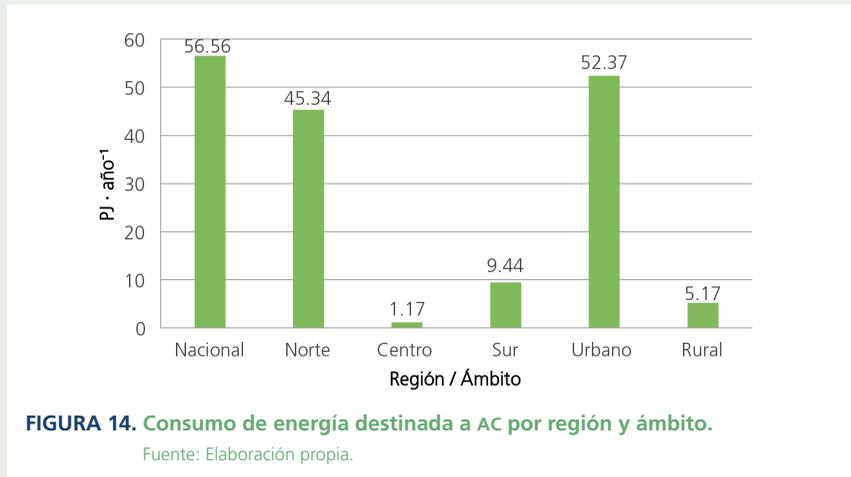


FIGURA 13. Horas de uso promedio al día de AC por región y ámbito.

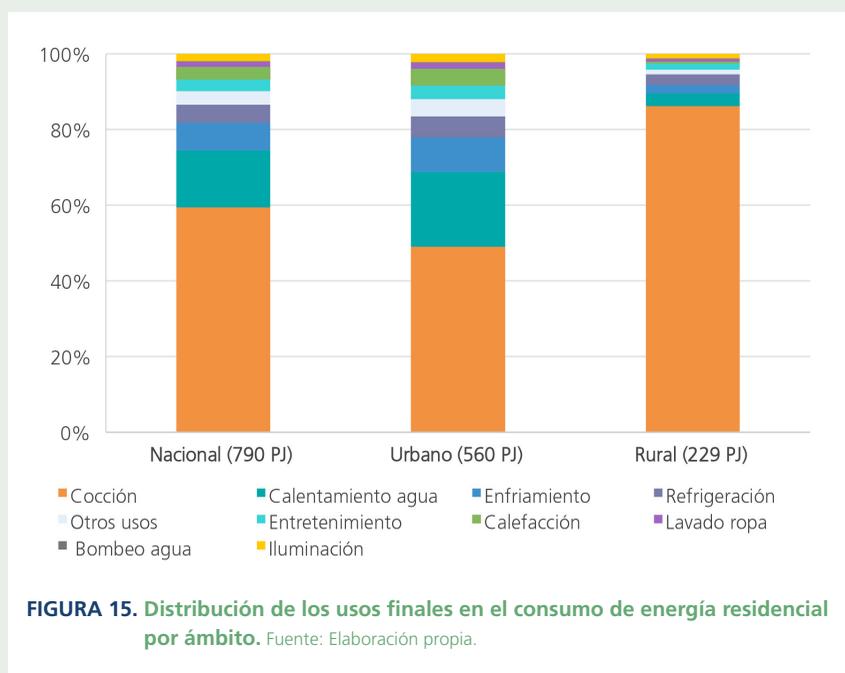
Fuente: Encevi, 2018.

Si bien las horas de uso reportadas por la Encevi para los ámbitos urbano y rural son similares, la cantidad de equipos en uso en estos sectores es sumamente diferente. Esto repercute de forma notable en el consumo de energía destinado al AC (Figura 14).



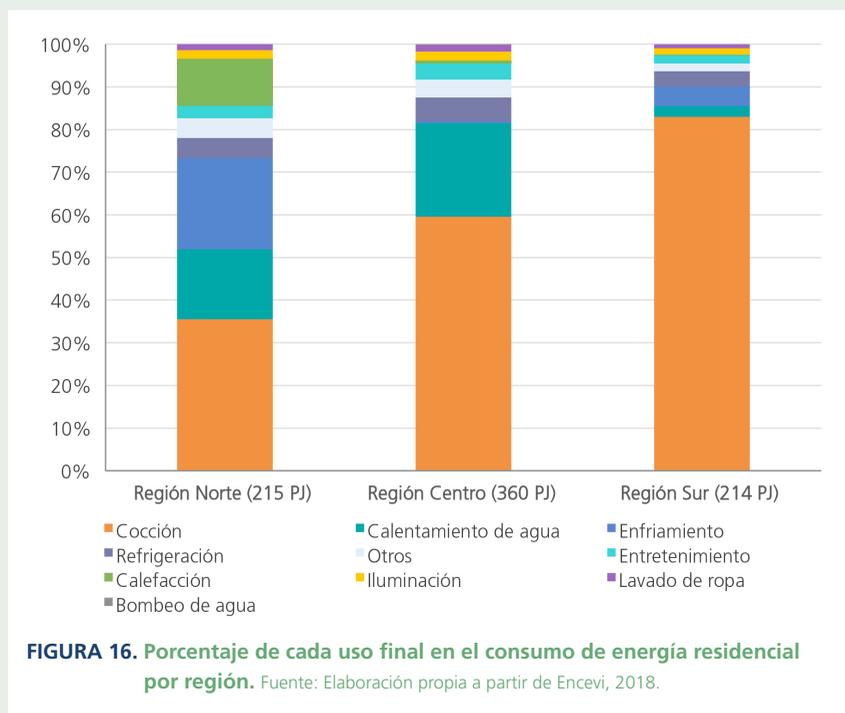
Consumos por ámbito urbano y rural

Se identificó una notable variación en el peso que tienen los diferentes usos finales en el consumo total de energía (790 PJ) para el ámbito urbano (560 PJ) y rural (229 PJ). Esto se explica por la diferencia en el nivel de acceso a tecnologías energéticas, el tipo de tecnologías utilizadas y por los patrones de uso de éstas (Figura 15). En las zonas rurales, la cocción representa un porcentaje mucho mayor del consumo total que en las zonas urbanas debido principalmente al mayor uso de fogones en éstas. En contraste, el porcentaje del consumo de energía dedicado al calentamiento de agua es mucho mayor en áreas urbanas que en las rurales. Es interesante notar que en ambos tipos de localidades los usos térmicos representan alrededor del 85% del consumo total.



Consumos a nivel regional

La región centro presenta el mayor consumo energético (360 PJ), seguida por la región norte (215 PJ) y la región sur (214 PJ). Regionalmente se observan variaciones mucho mayores en el impacto de cada uso en los consumos de energía por uso final. No obstante, como puede observarse en la Figura 16, la cocción de alimentos es el uso que predomina de manera mayoritaria en las tres regiones.



El uso final “cocción” constituye el 83% del total del consumo residencial de energía en la región sur, lo cual equivale a 178 PJ. Esto se debe a que en esta región existe un alto consumo de leña, con casi 3.9 millones de viviendas (o 14.6 millones de usuarios totales de leña) que utilizan dicho combustible para cocción, junto con un número bajo de estufas ahorradoras (Tabla 3.4). Debido

a que en esta zona se concentran muchos de los municipios de mayor pobreza en México, es prioritario generar acciones concretas en materia de proyectos energéticos y políticas públicas para incrementar el acceso a servicios energéticos eficientes, saludables y dignos.

TABLA 3.4 Número de usuarios de leña exclusivos y mixtos por región.

| | Norte | Centro | Sur | Nacional |
|----------------------------|-----------|------------|------------|------------|
| Estufas instaladas | 35,831 | 64,901 | 13,671 | 114,403 |
| Usuarios exclusivos | 3985,532 | 2,150,589 | 5,654,153 | 8,076,382 |
| Usuarios mixtos | 2,899,661 | 8,297,912 | 8,944,991 | 19,839,744 |
| Usuarios totales | 3,285,192 | 10,358,501 | 14,599,144 | 27,916,126 |

Consumo de combustibles

Consumo a nivel nacional

El GLP es el principal combustible de la matriz de energéticos del sector residencial para la satisfacción de los usos finales de cocción y calentamiento de agua. Al GLP le sigue la leña, la cual se utiliza sobre todo en fogones de baja eficiencia para los usos de cocción, calentamiento de agua y calefacción de espacios, éste último uso principalmente en localidades rurales. La electricidad es la tercera fuente en importancia en términos de consumo, y sus usos de mayor demanda son el enfriamiento —en especial debido al consumo de los equipos de AC— y la refrigeración. La penetración del GN y de la energía solar sigue siendo baja (Figura 17 y Tabla 3.5).

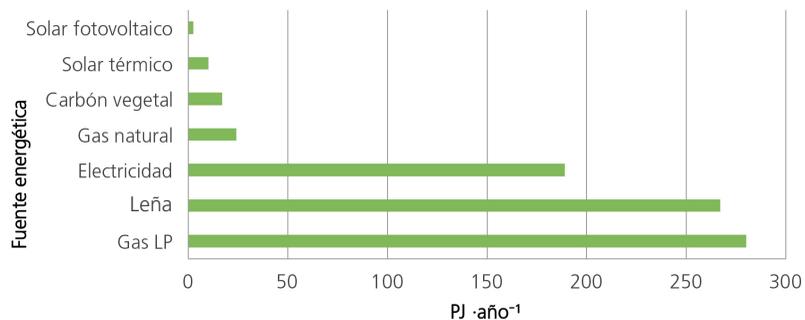


FIGURA 17. Demanda de energéticos del sector residencial nacional 2018 por fuente. Fuente: Elaboración propia.

TABLA 3.5. Consumo de energía por tipo de combustible y uso final (PJ×año⁻¹).¹

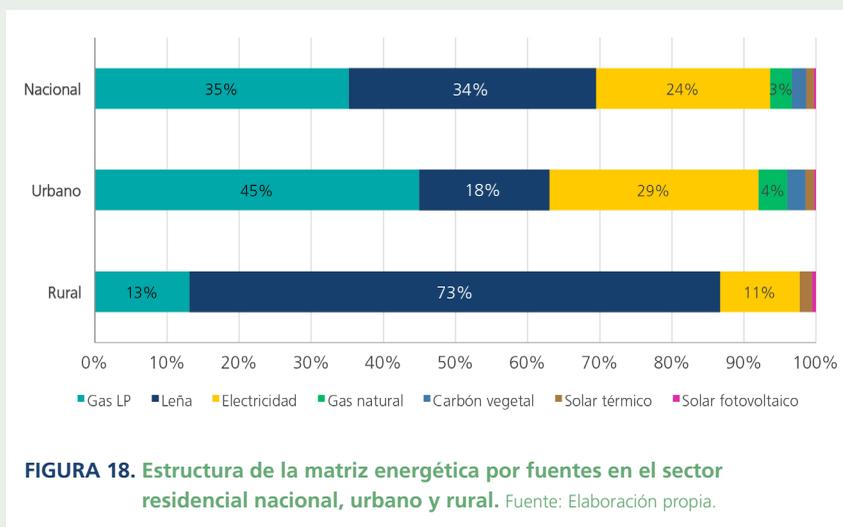
| COMBUSTIBLE | USO FINAL | ÁMBITO / REGIÓN | | | | | |
|----------------------------------|-----------------------------|-----------------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| | | Nacional | Urbano | Rural | Norte | Centro | Sur |
| Consumo anual de energía: | | 790 | 560 | 229 | 215 | 361 | 214 |
| Leña | Cocción | 260 | 95 | 165 | 28 | 92 | 141 |
| | Calentamiento de agua | 3.22 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0 |
| | Calefacción | 4 | 3 | 0 | 4 | 0 | 0 |
| | Total leña | 267 | 100 | 167 | 33 | 93 | 141 |
| Carbón vegetal | Cocción | 17 | 14 | 4 | 1 | 12 | 5 |
| | Total carbón vegetal | 17 | 14 | 4 | 1 | 12 | 5 |
| Gas LP | Cocción | 175 | 149 | 27 | 41 | 103 | 31 |
| | Calentamiento de agua | 88 | 85 | 3 | 23 | 60 | 5 |
| | Calefacción | 17 | 16 | 1 | 15 | 1 | 0 |
| | Total gas LP | 280 | 250 | 30 | 80 | 164 | 36 |

| | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Gas natural | Cocción | 7 | 7 | 0 | 4 | 3 | 0 |
| | Calentamiento de agua | 15 | 15 | 0 | 8 | 7 | 0 |
| | Calefacción | 3 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| | Total gas natural | 24 | 24 | 0 | 15 | 10 | 0 |
| Solar térmico | Calentamiento de agua | 10 | 7 | 3 | 0 | 9 | 0 |
| | Total solar térmico | 10 | 7 | 3 | 0 | 9 | 0 |
| Electricidad¹ | Cocción | 9 | 8 | 1 | 3 | 5 | 1 |
| | Iluminación | 16 | 13 | 3 | 5 | 8 | 3 |
| | Refrigeración | 38 | 31 | 7 | 10 | 20 | 7 |
| | Lavado ropa | 11 | 9 | 2 | 3 | 6 | 2 |
| | Entretenimiento | 24 | 20 | 4 | 6 | 14 | 4 |
| | Enfriamiento | 58 | 52 | 5 | 46 | 2 | 10 |
| | Calefacción | 3 | 3 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| | Calentamiento de agua | 3 | 3 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| | Bombeo de agua | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | Otros usos | 30 | 26 | 4 | 10 | 15 | 5 |
| | Total electricidad | 193 | 165 | 26 | 86 | 72 | 33 |

Notas: ¹ La electricidad incluye 2.6 PJ de solar fotovoltaica producidos en el sector residencial nacional.

Consumo por fuentes a nivel urbano-rural

Existe un contraste en la composición de la matriz energética de la zona urbana y rural (Figura 18). En las localidades urbanas, el GLP se apega a la dinámica nacional siendo el principal combustible (45% de la demanda), seguido por la electricidad (29%) y la leña (18%). Por otro lado, la leña es el combustible principal en las localidades rurales (73%), seguida por el GLP (13%) y la electricidad (11%).



Emisiones de gases de efecto invernadero

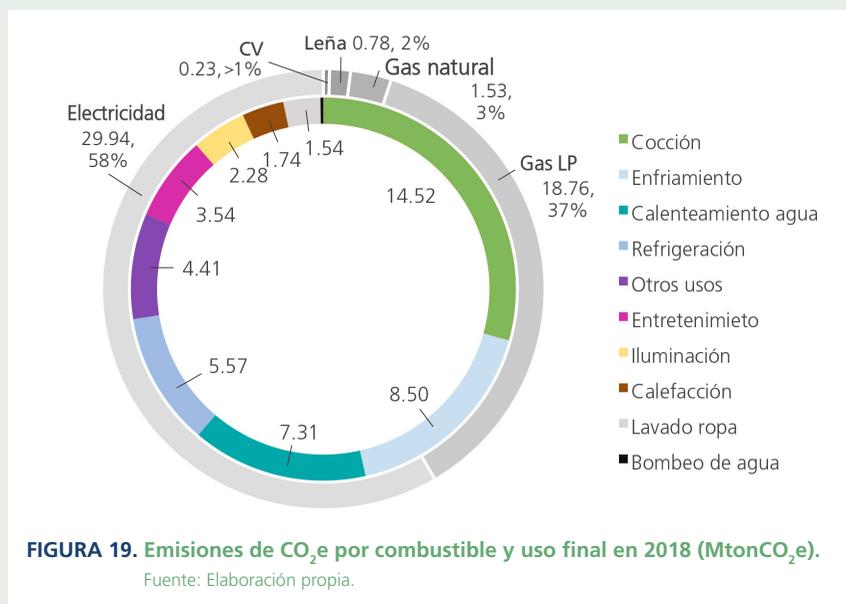
De acuerdo con los consumos de combustibles obtenidos en el presente trabajo, se estima que el sector residencial aportó entre 50 y 58 MtonCO₂e para 2018, dependiendo de la renovabilidad del uso de leña². Dicho cálculo considera

² Para las emisiones de CO₂ asociadas al consumo de leña y el carbón vegetal, se asumen dos escenarios: (1) su aprovechamiento es totalmente renovable, por lo que su emisión de CO₂ es cero, ya que los bosques absorben este gas en su fase de crecimiento; y (2) su aprovechamiento es 34% no renovable, a partir de un estudio realizado por (Serrano et al. 2018). En este último caso, las emisiones de CO₂ por uso de leña y las totales se ven afectadas por este factor, aumentando a 58 MtonCO₂e para el sector residencial y a un 19% la contribución por la quema de leña.

los factores de emisión estimados para la operación de los dispositivos y la quema de combustibles, pero no incluye las emisiones asociadas a la manufactura de los equipos o al ciclo de vida de los combustibles.

La electricidad fue el combustible con mayor aportación a las emisiones, contribuyendo con el 58%, seguida por el GLP (37%), el GN (3%), la leña (entre 2% y 19% dependiendo de su renovabilidad) y el carbón vegetal (>1%). Con respecto a los usos finales, la tendencia en emisiones de GEI es muy similar a la presentada previamente en los consumos. El uso final de cocción aportó el 29% (14.52 MtonCO₂e) del total de emisiones, seguido por el aire acondicionado y enfriamiento de espacios (17%, 8.50 MtonCO₂e), calentamiento de agua (15%, 7.31 MtonCO₂e), refrigeración (11%, 5.57 MtonCO₂e), otros usos (9%, 4.41 MtonCO₂e), entretenimiento (7%, 3.54 MtonCO₂e), iluminación (5%, 2.28 MtonCO₂e), calefacción (4%, 1.74 MtonCO₂e), lavado de ropa (3%, 1.54 MtonCO₂e) y bombeo de agua (>1%, 0.23 MtonCO₂e) (Figura 19).

La estimación de emisiones del presente trabajo difiere de manera sustancial del estimado en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI) para el sector residencial en México, el cual reporta un total de emisiones de 20.18 MtonCO₂e en 2018. Lo anterior puede deberse al enfoque de uso final utilizado en el presente trabajo, así como a los diferentes supuestos considerados.



Análisis de sensibilidad

Los consumos estimados en el presente trabajo son resultado de una serie de supuestos que intentaron representar de la mejor manera posible la realidad del sistema energético residencial nacional. Sin embargo, existe un rango de incertidumbre y error para cada parámetro utilizado en el modelo. Por este motivo, y como un primer aproximación, se realizó un análisis de sensibilidad con el fin de identificar aquellos parámetros que generan una mayor variación en las estimaciones del consumo energético nacional (Figura 20): (1) porcentaje de ahorro de leña en usuarios mixtos; (2) porcentaje de ahorro de leña en estufa eficiente de leña; (3) porcentaje de ahorro de GLP en usuarios mixtos; (4) porcentaje de usuarios exclusivos de CSA; (5) factor de respaldo con GLP para usuarios que usan CSA; y (6) horas de uso al año de AC. De éstos, el factor con mayor sensibilidad a una variación respecto a su estimación fue el porcentaje de ahorro de leña que tienen los usuarios mixtos —es decir, aquellos que utilizan leña y GLP— con respecto a los usuarios exclusivos de leña. Puesto que el uso de cocción y calentamiento de agua son los que más contribuyen al consumo energético nacional, es de esperarse que los supuestos considerados para estos usos son también los que más afectan el cálculo del consumo energético nacional.

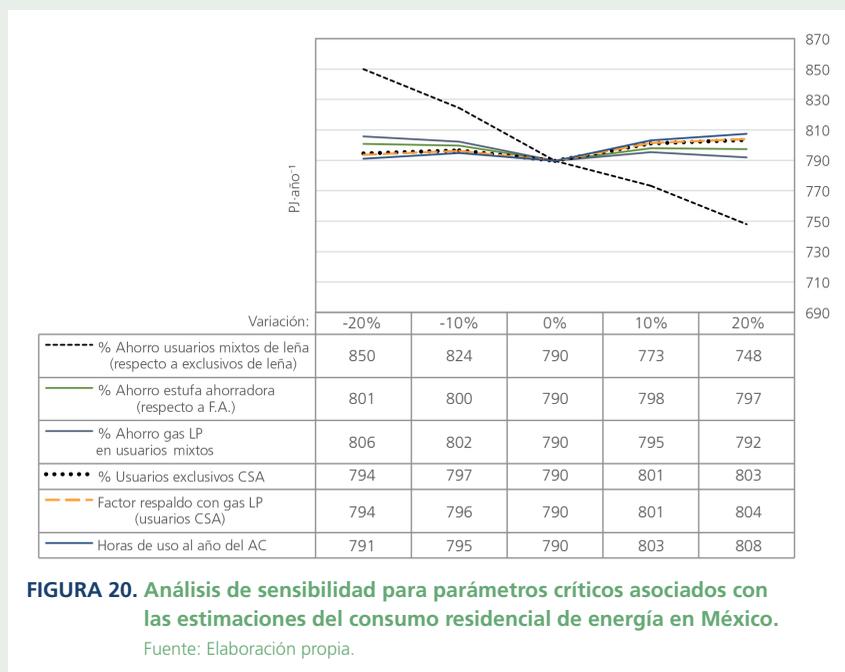


FIGURA 20. Análisis de sensibilidad para parámetros críticos asociados con las estimaciones del consumo residencial de energía en México.

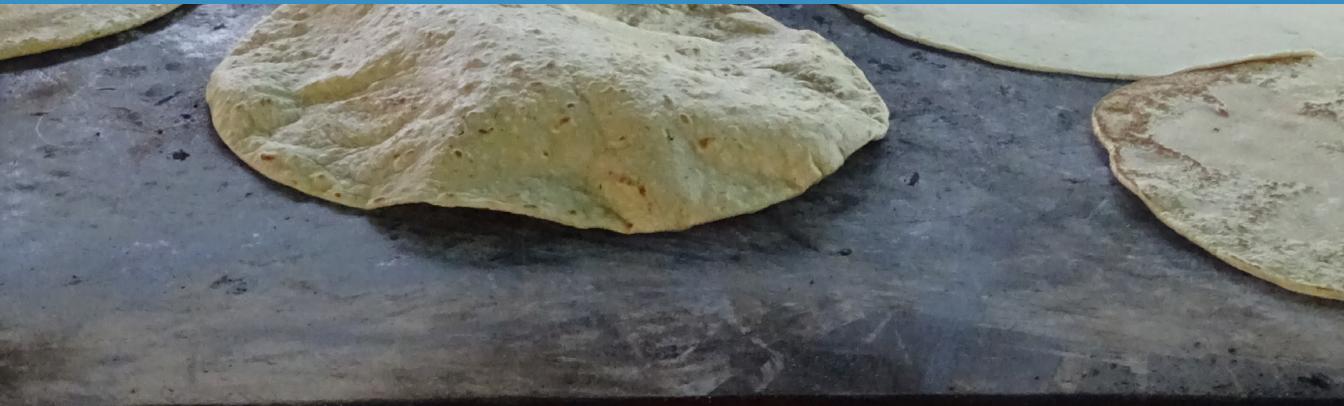
Fuente: Elaboración propia.

Limitaciones del estudio

Existen limitaciones importantes del presente estudio que deben de tomarse en cuenta a fin de superarlas para obtener estimaciones más precisas y regionalizadas en futuras investigaciones sobre el sector residencial mexicano.

1. Utilizar un consumo unitario promedio para cada tecnología a nivel nacional deja de lado la importante variabilidad regional derivada de aspectos climáticos, del tamaño de los equipos y de la edad de los mismos, entre otros factores.
2. En este trabajo se consideraron los principales dispositivos utilizados en el hogar, sin embargo, se dejó de lado ciertas tecnologías y usos finales, como equipos de cómputo —laptops, computadoras e impresoras— y de entretenimiento —consolas de videojuegos, reproductores de DVD y estéreos—. Uno de los usos finales importantes no contemplados a cabalidad en la encuesta es por ejemplo el consumo de carbón vegetal para asar carne a la parrilla, el cual es muy frecuente en el norte del país.

Recomendaciones y consideraciones finales





Recomendaciones y consideraciones finales

El presente trabajo estima los patrones de consumo de energía en el sector residencial de México por ámbito y región desde una perspectiva de usos finales. A partir de los datos aquí presentados, se concluye lo siguiente:

1. La cocción es el uso final que demanda la mayor cantidad de energía al año a nivel nacional, regional y en los ámbitos urbanos y rurales. Por ello, cobra especial relevancia que las políticas públicas y proyectos energéticos se enfoquen en asegurar que todas las familias mexicanas sean capaces de satisfacer dicha necesidad de una manera segura y asequible.
2. En el mismo sentido, y tomando en cuenta que históricamente los esfuerzos sobre eficiencia energética se han concentrado en los usos finales de la electricidad, debería haber un mayor énfasis en reducir la demanda de energía térmica que representa el 76% del consumo energético del sector residencial. La leña y el GLP son las fuentes más demandadas tanto para cocción como para calentamiento de agua. Es por ello que dispositivos más eficientes y limpios — como las estufas ahorradoras de leña y los calentadores solares— podrían ayudar a minimizar de manera significativa la demanda energética de dichos combustibles, garantizando a su vez un mayor y más seguro acceso a servicios energéticos para toda la población mexicana.

3. El ahorro de GLP debe ser también una prioridad, dado que se importa aproximadamente el 70% de este combustible y se han observado incrementos notables en su precio (SIE, 2022). Como lo muestra nuestro análisis, un 31% del consumo de GLP se dirige al calentamiento de agua, por lo que un programa agresivo de calentadores solares permitiría ahorros sustantivos de este combustible. Esto redundaría en una mayor soberanía energética, menos emisiones de GEI y -si se diseña el programa de manera adecuada- en un impulso a la industria nacional de calentadores.
4. La leña sigue siendo uno de los combustibles más importantes del sector residencial, con 28 millones de usuarios y un impacto en el 34% del consumo nacional (73% del consumo rural). A pesar del aumento de la penetración del GLP en usuarios periurbanos y rurales, la leña se ha mantenido como un combustible resiliente que se sigue utilizando ya sea de manera exclusiva o combinada con el gas por razones culturales y económicas. Por ello, cobra especial relevancia que continúen y se fortalezcan los esfuerzos que promueven su uso de manera sostenible para el ambiente y segura para los usuarios. En particular, es urgente reactivar los programas de estufas ahorradoras de leña: existen en México múltiples modelos de este tipo de estufas que permitirían garantizar un uso eficiente y limpio de la energía, brindando un combustible renovable y disponible a nivel local. Por el mismo motivo, es imperativo que se actualicen los estudios sobre el uso de leña y carbón vegetal en México por parte de la Secretaría de Energía (Sener) y las instituciones federales pertinentes. Asimismo, vale la pena que se actualice y ajuste el Balance Nacional de Energía, dándole a estos combustibles la relevancia que tienen en la matriz energética nacional.
5. El sur del país es la región con menor acceso a tecnologías y equipamiento doméstico, con excepción del ventilador y del AC. Son también las áreas con menor consumo de energía per cápita, menor ingreso económico y mayor marginación.

6. Existe un acceso desigual a los equipos domésticos y tecnologías energéticas, así como una diversidad de usos finales por ámbito y región. Este hecho resalta la importancia de analizar las características de las necesidades energéticas particulares a cada contexto al momento de desarrollar proyectos energéticos.
7. Es crítico mantener actualizada y accesible la información sobre consumos energéticos residenciales. Al mismo tiempo, sería importante dar continuidad a encuestas como la Encevi, la cual constituyó un esfuerzo sin precedentes de coordinación de instituciones entre el INEGI y la Conuee. Deben también llevarse a cabo estudios periódicos que realicen mediciones directas sobre consumos residenciales, con datos sobre los energéticos de los que no se tiene suficiente conocimiento como la leña. Además, se debe mantener el acceso público a estadísticas actualizadas en relación al consumo energético de los hogares -incluyendo a las áreas urbanas y rurales- como aquellas del Sistema de Información Energética (SIE) o las series de tiempo históricas sobre GLP, GN y electricidad de la Sener.
8. Por último, es muy importante que los análisis del consumo sectorial de energía se lleven a cabo también para el resto de los sectores —industrial, transporte, agrícola, etc.—, con el fin de identificar puntos críticos y oportunidades en los que las políticas energéticas nacionales y regionales deben enfocarse.



Referencias bibliográficas

- A. Franco y M. Velázquez. «Una aproximación sociodemográfica al consumo de energía en los hogares mexicanos, 2014». *La situación demográfica de México 2016*. Dirección de Poblamiento y Desarrollo Regional Sustentable. Consejo Nacional de Población, pp. 159-181, 2016.
- A. Prüss-Ustún, J. Wolf, C. Corvalán, R. Bos y M. Neira. *Preventing Disease through Healthy Environments. A Global Assessment of the Burden of Disease from Environmental Risks*. World Health Organization, France, 2016.
- CFE. *Consumo de energía eléctrica de electrodomésticos*. Ciudad de México, México., 2018.
- E. García-Frapoli, A. Schilmann, V. Berrueta, H. Riojas, E. R., M. Johnson, A. Guevara-Sanginés, C. Armendariz y O. R. Masera. «Beyond Fuelwood Savings: Valuing the Economic Benefits of Introducing Improved Biomass Cookstoves in the Purépecha Region of Mexico». *Ecol Econ*, vol. 69, n° 12, 2010.
- GIZ. *La industria solar fotovoltaica y fototérmica en México*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, IER-UNAM, ProMéxico, 2017.
- H. S. Kristle Nathan y H. Lakshmikanth. «Towards a New Approach in Measuring Energy Poverty: Household Level Analysis of Urban India». *Energy Policy*, vol. 140, n° 111397, 2020.

- IEA. *Energy Access Outlook 2017. From poverty to prosperity*. International Energy Agency. OECD, 2017.
- IEA. *World Energy Balances. Overview*. International Energy Agency, 2020.
- INEGI. *Censo de Población y Vivienda 2015*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México, 2016.
- INEGI. *Primera encuesta nacional sobre consumo de energéticos en viviendas particulares (ENCEVI)*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México, 2018.
- K. R. Smith, S. Metha y M. Maeusezahl-Feuz. «Indoor Smoke from Household Solid Fuels». *Comparative Quantification of Health Risks: Global and Regional Burden of Disease due to Selected Major Risk Factors*. Geneva, World Health Organization, pp. 1435-1493, 2004.
- M. Jeuland, R. T. Fetter, Y. Li, S. K. Pattanayak, F. Usmani, R. A. Bluffstone, C. Chávez, H. Girardeau, S. Hassen, P. Jagger, M. M. Jaime, M. Karumba, G. Köhlin, L. Lenz, E. L. Litzow, L. Masatsugu, M. A. Naranjo, J. Peters, P. Qin, R. D. Ruhinduka, M. Serrano-Medrano, M. Sievert, E. O. Sills y M. Toman. «Is Energy the Golden Thread? A Systematic Review of the Impacts of Modern and Traditional Energy Use in Low- and Middle-Income Countries». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 135, n° 110406, 2021.
- O. Masera, R. Friedmann y O. de Buen. *Residential Energy Use in Mexico: Structure, Evolution, Environmental Impacts, and Savings Potential*. Berkeley, California, U.S.A., 1993.
- O. R. García. *Pobreza energética en América Latina*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2014.
- O. R. García. *Pobreza energética y cambio climático. Una propuesta metodológica para el análisis de la relación entre energía, pobreza y medio ambiente*. Colegio de México, México, 2011.
- R. García-Ochoa y B. Graizbord. «Caracterización espacial de la pobreza energética en México. Un análisis a escala subnacional». *Economía, Sociedad y Territorio*, vol. XVI, n° 51, pp. 289-337, 2016.

- Secretaría de Energía (Sener). *Balance Nacional de Energía 2018*. Secretaría de Energía. Subsecretaría de Planeación y Transición Energética. Dirección General de Planeación e Información Energética, México, 2019.
- Secretaría de Energía (Sener). *Indicadores de eficiencia energética en México: 5 sectores, 5 retos*. México, 2011.
- Secretaría de Energía (Sener). *Norma Oficial Mexicana NOM-003-ENER-2011, Eficiencia térmica de calentadores de agua para uso doméstico y comercial, límites, método de prueba y etiquetado*. México, 2011.
- Sistema de Información Energética (SIE), Sener, 2022. <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=SSHDGPC22>
- V. M. Berrueta, M. Serrano-Medrano, C. García-Bustamante, M. Astier y O. R. Masera. «Promoting Sustainable Development of Rural Communities and Mitigating Climate Change: The Case of Mexico's Improved Cookstove Project». *Climate Change*, vol. 140, n° 1, pp. 63-77, 2017.
- V. M. Berrueta, R. D. Edwards y O. R. Masera. Energy performance of wood-burning cookstoves in Michoacan, Mexico». *Renewable Energy*, n° 33, pp. 859-870, 2008.



**GOBIERNO DE
MÉXICO**



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

