



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Palabras clave

Eficiencia energética en la edificación

Envolvente

Pobreza Energética

Resumen provisional

Las condiciones de eficiencia energética de la edificación moldean la temperatura interna de la vivienda. El tipo de material de construcción, diseño, o aislamiento, detonan la toma de decisiones de enfriamiento y calentamiento para confort térmico. Convirtiéndose, para los hogares en vulnerabilidad, en un reto presupuestal. Por lo anterior, el presente estudio genera un análisis sobre el estado actual de eficiencia energética del stock mexicano de vivienda a través de un modelo logit, que nos permite determinar el grado de predicción de diversos indicadores pertinentes a la envolvente de la vivienda. El modelo considera la heterogeneidad del consumo energético de los hogares en los diferentes estratos económicos, con el objetivo de identificar vínculos con la pobreza energética por gasto energético excesivo. Los resultados sugieren que los hogares que habitan viviendas de materiales sólidos y de tipología semi-aislada son más propensos a incurrir en gastos energéticos insostenibles. Este estudio contribuye a la literatura de pobreza energética en el contexto mexicano, a través de la exploración de una de las múltiples capas del fenómeno. Las conclusiones destacan el potencial de la regulación en eficiencia energética para la edificación de uso doméstico. Así como la aplicación de programas y políticas de mejoramiento de la vivienda existente, para proveer espacios habitables adecuados que simultáneamente prevengan la pobreza energética que surge en la búsqueda de satisfacer las necesidades básicas energéticas.

Abstract

Building energy efficiency conditions shape dwellings indoor temperatures. Characteristics such as the construction material, design, and thermal insulation, detonate the energy decision making for cooling and heating thermal comfort. This becomes a budget challenge for households in vulnerability. Therefore, this study analyses the current energy efficiency state of the Mexican housing stock, through a logit model that determines the predictability of diverse indicators relevant to the infrastructure energy efficiency. The model considers households energy consumption heterogeneity by socioeconomic strata, to identify affiliations with energy poverty by excessive energy expenditure. The results suggest connections between habiting solid material and semi-detached dwellings with higher energy expenditure. This study contributes to the existent literature on energy poverty for the Mexican context, through the exploration of one of the multiple layers of this complex phenomenon. The conclusions feature the potential of building efficiency regulations, and existent dwelling upgrading to provide an adequate habitable space that simultaneously prevents energy poverty on the search to satisfy the basic energy needs.

Contenido

Introducción	5
Perspectiva General	9
Transición energética y desarrollo sostenible: la convergencia	9
Pobreza energética: mas allá del acceso	10
Acceso y demanda energética para el confort térmico de la vivienda	12
Eficiencia energética en la edificación residencial existente	16
Políticas de vivienda y regulación para la edificación.....	20
Fundamentos teóricos y conceptuales	24
Pobreza energética: enfoques y metodologías	24
La importancia de la infraestructura física de la vivienda y su eficiencia.....	26
La envolvente térmica y el aislamiento de la vivienda	29
Metodología.....	33
Naturaleza del Estudio	33
Análisis y Tratamiento de Datos	36
Resultados y Discusión.....	39
Cálculo de la tasa de pobreza energética con la métrica 2μ.....	39
Predicción del modelo de regresión logística	42
Conclusión	53
Referencias	56

Índice de tablas, gráficas e ilustraciones

Tabla 1. Categorización de materiales de la envolvente para el rezago habitacional CONAVI	17
Tabla 2. Programas de mejora de la envolvente	21
Tabla 3. Enfoques de estudio de pobreza energética	24
Tabla 4. Valores para el cálculo de flujo de calor a través de la envolvente	30
Tabla 5. Estadística descriptiva de variables en el estudio	34
Tabla 6. Indicadores de eficiencia energética de la envolvente para la vivienda	38
Tabla 7. Resultados de los coeficientes del modelo pobreza energética 2μ todos los estratos socioeconómicos	43
Tabla 8. Hogares propensos a la pobreza energética 2μ	52
Gráfica 1. Hogares en pobreza energética por medio de la métrica 10%	11
Gráfica 2. Evolución del consumo eléctrico residencial de la Comisión federal de Electricidad 1982-2019	14
Gráfica 3. Viviendas que disponen de energía eléctrica y usan tecnologías de calefacción y enfriamiento de espacios	15
Gráfica 4. Gases de efecto invernadero por consumo de energía: subcategoría residencial	16
Gráfica 5. Material de las paredes, techo y piso de las viviendas en México 2018	18
Gráfica 6. Aislamiento térmico de la vivienda	19
Gráfica 7. Tasa de pobreza energética por estrato socioeconómico	40
Gráfica 8. Pobreza Energética 2μ México 2018	41
Ilustración 1. Factores que influyen en la pobreza energética	26
Ilustración 2. Combinación de factores característicos de los hogares en pobreza energética	28
Ilustración 3. Pérdida y ganancia de calor de la envolvente	29
Ilustración 4. Porcentaje de la población en pobreza energética 2μ todos los estratos, por entidad federativa	42

Introducción

La eficiencia energética es la herramienta con mayor factibilidad costo-beneficio para la reducción de energía de consumo final y sus consecuentes emisiones de CO₂. México la incorpora como parte de su estrategia para reducir la intensidad energética del ambiente construido y de consumo final con el objetivo de reducir 22% de sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) al 2030 y 51% respecto a sus emisiones de carbono negro para el 2030 como estipula la Ley General de Cambio Climático, lo que se conseguirá a través del compromiso de diferentes sectores incluyendo el residencial y comercial (DOF, 2012; INEEC, 2018).

La importancia del sector residencial recae en las actividades que toman lugar en el interior de la vivienda y que consumen energía para satisfacer necesidades de la vida diaria. Este consumo es responsable del 28% de las emisiones mundiales de carbono atribuido a actividades de iluminación, calefacción y enfriamiento (Adams et al., 2019). Los esfuerzos de eficiencia energética residencial en México se han dirigido en su mayoría al sector de tecnologías en electrodomésticos para el hogar, por medio de la sustitución de equipos obsoletos, la obtención de facilidades para calentadores solares y la difusión de focos ahorradores. Sin embargo, el desempeño e intensidad de algunas tecnologías dependen en gran parte de la capacidad de la vivienda de conservar un ambiente confortable. Por lo anterior han surgido programas de soporte al mejoramiento de la vivienda (incluyendo aislamiento y mejoramiento de la envolvente), pero que usualmente no están destinados a los sectores más necesitados y además limitan la participación de los deciles más bajos debido a los rigurosos requerimientos financieros para obtener créditos o subsidios (CONAVI, 2010). Esfuerzos innovadores a nivel global tal como la NAMA¹ de vivienda existente presentan soluciones prometedoras en la reducción de emisiones del ambiente construido residencial de índole social. En respuesta a la crisis de vivienda social existente, que se deriva de la construcción de edificios sin consideraciones de confort térmico interno ni de las condiciones bioclimáticas de cada región (Medrano-Gómez & Izquierdo, 2017).

La pobreza energética, entendida como la imposibilidad de acceder a la energía y a los servicios que esta ofrece de forma asequible, limpia, segura, confiable y sustentable, es

¹ Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMA por siglas en inglés)

una de las metas y acciones de impacto social de la Ley de Transición Energética (DOF, 2020). Las políticas de eficiencia energética en la vivienda se podrían convertir en un gran aliado para el abatimiento o reducción de la pobreza energética. Una vivienda ineficiente obliga a los hogares de bajos ingresos a consumir mayores niveles de energía sacrificando otros bienes de la canasta básica. En algunas regiones climáticas la población se ve obligada a invertir en tecnologías costosas que resultan inasequibles o inducen a la deuda, mientras otra parte de la población se encuentra simplemente excluida de los servicios energéticos por inasequibilidad. La importancia de los materiales de la vivienda y el aislamiento térmico se multiplican al hablar de pobreza energética frente a la presión por las variaciones en temperatura derivadas del calentamiento global y otros fenómenos de cambio climático. Estas variaciones debilitan el funcionamiento del aislamiento térmico y entorpecen el propósito de la envolvente de proteger y separar el interior del exterior por medio de muros, piso, ventanas, techos y puertas (CONUEE & SENER, 2015). El tener acceso a una vivienda eficiente es determinante para el bienestar general de los hogares, y un derecho constitucional (CONEVAL, 2018). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la calidad de la vivienda debe ser tal que no ponga en peligro el acceso a otros servicios básicos como la energía. No obstante, los hogares con ingresos equivalentes al salario mínimo destinan hasta el 68% al pago de electricidad durante el verano lo que se agrava con un mal diseño de la vivienda, mismo que tiene consecuencias que se trasladan a los usuarios por medio del gasto energético excesivo y a través de repercusiones económicas y ambientales durante la vida útil de la edificación que pueden incrementar con el tiempo (R. Calderón et al., 2011; Economía, 2013). La crisis epidemiológica COVID-19 ha expuesto los efectos de la envolvente de la vivienda en las necesidades energéticas y en el bienestar de los hogares, ya que al verse obligados a pasar mayor tiempo en el interior de la vivienda sus necesidades de confort se modifican. La imposibilidad de acceder a temperaturas confortables en el interior de la vivienda puede repercutir en el desempeño escolar de los estudiantes y trabajadores en casa. Además de agravar la salud de niños, ancianos, personas con enfermedades crónicas e inclusive obstaculizar la recuperación de los que están en cuarentena en su vivienda por haber contraído el virus.

Actualmente existe una amplia literatura que demuestra las ventajas del uso apropiado del aislamiento de la envolvente en edificaciones en la mejora del confort térmico a

menores costos de operación (Al-Homoud, 2004). Como sugiere el estudio de Calderón & Beltrán (2018) la mejora de factores físicos, tales como mejoras de eficiencia energética, tienen un mayor efecto en el consumo energético que los cambios positivos de comportamiento de usuarios e incluso que los avances en eficiencia de electrodomésticos. Para el caso de estudio mexicano, los autores R. Calderón et al., (2011) analizaron viviendas económicas en zonas desérticas del país, y con la aplicación de tecnologías de aislamiento térmico de 1” en una vivienda económica ineficiente, obtuvieron como resultado una reducción en el consumo eléctrico en 20% y .45 toneladas de CO2 en un periodo de un año.

Estudios internacionales en la relación entre la edificación y pobreza energética, como el de los autores Tardy & Lee (2019), sugieren que se da por medio de la habitación de edificaciones viejas, viviendas de menor calidad con bajos niveles de aislamiento, altas tasas de filtración de aire y que posiblemente no han tenido mantenimiento apropiado a lo largo de los años.

El fomento a la eficiencia energética tiene el potencial de ayudar a los gobiernos a alcanzar sus metas de índole ambiental, de salud pública y simultáneamente convertirse en un aliado para el abatimiento de la pobreza energética. Esto por medio del desarrollo de instrumentos tecnológicos, económicos y sistémicos que fomenten el ahorro energético en los hogares y que garanticen progreso y calidad de vida en el ambiente interno de la vivienda. No obstante, las mejoras de la envolvente de la vivienda podrían generar el contexto para que los hogares que actualmente no satisfacen sus necesidades energéticas lo hagan, lo cual podría potencialmente generar un efecto rebote de gasto y emisiones.

Este ensayo resalta la representación de los intereses sociales en la vida cotidiana y en el marco de política de transición energética y cambio climático. Es importante dar reconocimiento a la centralidad del bienestar social en la extensión y fuerza de un cambio de paradigma energético y ambiental, ya que la retórica prevaleciente deja a merced de las fuerzas del libre mercado al beneficio de la población vulnerable.

Para hacerle frente a la pobreza energética tenemos que asimilar el sistema energético como un proveedor de servicios y de bienestar, así como comprender la obstrucción de libertades y desarrollo que trae consigo la vivienda con envolvente y diseño ineficiente. Siendo capaz de vulnerar la libertad de satisfacer otras necesidades vinculadas a la energía

y que se materializan en forma de alimentos preparados, agua caliente, comunicación e información y espacios acondicionados. Estas necesidades han sido evaluadas en el contexto mexicano con enfoque en el acceso a los servicios básicos energéticos y las actividades que se derivan de este acceso (García & Graizbord, 2016a, 2016b; Santillán et al., 2020). Lo cual representa un paso adelante en la comprensión del complejo sistema doméstico de energía, que, en contraste con visiones estrechas sobre acceso a la energía, se adentran en el reconocimiento de las singularidades e incentivos de consumo de los hogares e individuos que le componen. Sin embargo, no se ha desarrollado aún un acercamiento a las características de la envolvente y aislamiento de la vivienda desde un enfoque de pobreza energética en México siendo que, dependiendo de la calidad en la protección que nos brinda la envolvente de las condiciones climáticas externas, determinará cuales servicios energéticos le son indispensables al hogar, cuanta energía y que aparatos se requieren para el confort térmico.

Con origen en el escenario anterior el presente ensayo pretenderá encontrar respuesta a las siguientes interrogantes:

- ¿Cuántos hogares están en pobreza energética por gasto energético excesivo?
- Y, por último, ¿cuales son las características de la envolvente de la vivienda que habitan hogares en pobreza energética?

Para lo cual, se desarrollará un análisis de las condiciones actuales de la envolvente de la vivienda, observando los diferentes materiales de los muros, techo y piso, así como el uso de aislamiento. Estudiaremos los vínculos entre los niveles tan altos de pobreza energética en el país y la envolvente de la vivienda, en base al gasto energético en electricidad, gas liquido de petróleo (GLP), gas natural, leña y carbón de los hogares por medio de una regresión logística. Incluyendo aspectos de uso de tecnologías de enfriamiento y calefacción de espacios, edad de la vivienda y zona climática que brindarán un panorama mas profundo sobre las características de los grupos poblacionales en pobreza energética fruto de la ineficiencia energética de la vivienda. Los resultados del análisis de literatura y empírico contribuirán en la expansión de la base de conocimiento sobre la pobreza energética en México para promover la construcción de una política pública que atienda la problemática.

Perspectiva General

Transición energética y desarrollo sostenible: la convergencia

El sistema energético en México es una de las principales fuentes de emisiones de GEI esto debido a la producción y transmisión de energía eléctrica, en particular el consumo de combustibles fósiles de estas actividades (SENER, 2020). En solución a lo anterior, la Ley de Transición Energética en su estrategia procura la adopción de nuevas tecnologías energéticamente mas eficientes, así como la reducción de desperdicio energético a través de la modificación de patrones de conducta y sistemas. Por medio del establecimiento de políticas y el impulso de cambio no solo tecnológico, si no normativo en los diferentes sectores involucrados (DOF, 2020^a).

Bajo este contexto, el país ha generado metas de carácter sostenible sumándose a los esfuerzos del acuerdo de París, donde, para el 2040 se pretende reducir la intensidad energética del ambiente construido. Tal como se expresa en las metas de eficiencia energética y de reducción de intensidad energética por consumo final para el periodo 2016 - 2030 del 1.9%; y del 3.7% para el periodo de 2031 a 2050 y la reducción de un 25% los GEI de vida corta y en un 51% las emisiones de carbono negro, esto para el periodo 2020-2030 (DOF, 2012).

Uno de los retos de la transición energética es la inclusión del bienestar social como principal objetivo del marco de política. El país se ha enfrentado por décadas a un estado de pobreza social, en donde la naturaleza compleja del fenómeno requiere esfuerzos transversales, además de ser necesario volver a las raíces de la explotación de recursos naturales energéticos para no desviar la intención original del mismo, que es el bienestar humano, la satisfacción de necesidades de la población. De acuerdo con las Metas de Desarrollo Sostenible, corazón de la Agenda para el Desarrollo Sostenible 2030 de las Naciones Unidas, se reconoce que, para acabar con la pobreza y otro tipo de deprivaciones como la pobreza energética, se necesitan estrategias que vayan de la mano con mejoras a la salud, educación, reducción de la desigualdad y crecimiento económico, todo lo anterior, simultáneamente abordando cuestiones de cambio climático (UN, 2015).

Para asegurar el acceso a la energía de forma asequible, confiable y sustentable como lo indica la meta 7 (UN, 2015), es necesario dar un vistazo a todos los actores involucrados, mas allá de lo que la visión tradicional nos permite ver.

Pobreza energética: mas allá del acceso

México ha logrado expandir la infraestructura eléctrica nacional casi en su totalidad, de acuerdo con datos de la SENER al 2018, 1.25% de la población carecía de acceso al servicio en su hogar y según datos de la CONUEE la cobertura eléctrica era del 99.5% al 2016 (CONUEE, 2018; SENER, 2017, 2018). Mas no debemos ver esto como el objetivo último, si no como uno de los múltiples avances que se requieren en la búsqueda del bienestar energético de la población. Ya que, detrás de la tasa de cobertura eléctrica, la fluctuación de precios de los combustibles y el cambio climático existe una crisis de la que poco se habla en el ámbito de política del país, pero millones de hogares la padecen: pobreza energética.

Durante años, la aproximación que ha tenido el gobierno federal en lo concerniente al sistema interno domestico de energía se ha generalizado y reducido al indicador binario “acceso”. Con el que se mide el desarrollo de la infraestructura eléctrica y se reconoce a un hogar con acceso a la energía por la cercanía de su vivienda a la red eléctrica, y por la posesión de electrodomésticos básicos lo que le confiere en teoría, acceso al servicio. A lo largo de este camino, la población se ha enfrentado a desconexiones de la red por falta de pago, insuficiencia en la capacidad de la red en los días con temperaturas mas crudas, uso de tecnologías obsoletas y viviendas ineficientes, entre otras particularidades de la dependencia de un sistema centralizado de energía y la omisión de la sostenibilidad en la industria.

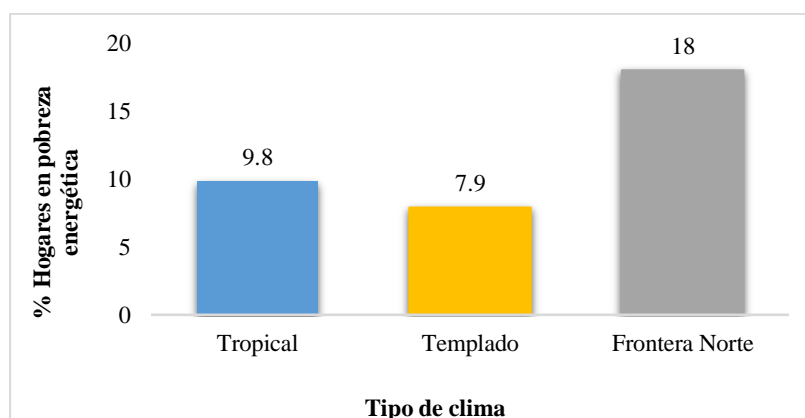
En respuesta a la problemática socio-energética en el país, los mas recientes documentos que derivan de la transición energética reflexionan e incluyen en el discurso la garantización del servicio eléctrico universal, eficiente, de calidad, y confiable para toda la población mexicana (SENER, 2019b). Igualmente, se incorpora el termino de “pobreza energética” como parte de las acciones de desarrollo e impacto social de la *Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios*, bajo los siguientes puntos:

- Reducir la pobreza energética mediante la promoción de proyectos incluyentes de energías limpias.
- Desarrollar programas de acceso universal de energía alineados al Programa de Naciones Unidas "Energía Sustentable para todos" (SE4ALL, por sus siglas en inglés).
- Fomentar el aprovechamiento de los residuos sólidos rurales, para la producción de biogás, la instalación de sistemas fotovoltaicos, aislados o conectados a la red, a través de proyectos incluyentes que reduzcan la pobreza energética y contribuyan a reducir condiciones de pobreza de forma más general (DOF, 2020).

Aun así, no existe una definición oficial de pobreza energética, pero se puede deducir en base a las estrategias para la reducción, que el enfoque gira alrededor del acceso a la energía. Dejando fuera cuestiones de asequibilidad, justicia y equidad energética para el soporte encauzado de la población vulnerable.

Por su parte, la Comisión Nacional de Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) hace consideraciones de pobreza energética valorando el alto consumo de electricidad para confort térmico, el acceso a energía moderna, el gasto energético y en equipamiento, la evolución de los equipos y sistemas del hogar, así como la intensidad energética del sector residencial. De acuerdo con la CONUEE, cerca del 11% del total de los hogares se encuentra en pobreza energética, lo que representa alrededor de 3.5 millones de hogares, siendo el mayor porcentaje regional el de la frontera norte, donde el 18% de los hogares tiene gastos energéticos superiores al 10% de sus ingresos (Gráfica 1).

Gráfica 1. Hogares en pobreza energética por medio de la métrica 10%



Fuente: Tomada de CONUEE, (2018)

Por lo que la diferenciación de los contextos energéticos en las zonas geográficas, conlleva acciones individualizadas en algunas regiones donde se requieren mayores esfuerzos para disminuir el alto consumo de energía para confort térmico, específicamente, sugiere la CONUEE, la incorporación generalizada de cuestiones de eficiencia energética en la envolvente de la edificación en los reglamentos locales de construcción (CONUEE, 2018). Como se ha intentado por ejemplo en el estado de Sonora desde hace aproximadamente 15 años por medio de la adopción de una norma técnica complementaria a los reglamentos de construcción del municipio de Hermosillo, pero que a tenido oposición.

En este sentido la transición energética pretende ejecutar obligaciones de códigos y estándares de eficiencia energética para la edificación de nueva construcción. Lo cual es relevante debido a la demanda energética de la edificación residencial, que asciende al 82.2% de la energía total y 72% de electricidad del sector de las edificaciones (CONUEE & SENER, 2017). Por otra parte, la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) estima, con año base 2010, que el número de hogares habrá incrementado en un 40% para el 2030, lo que nos puede dar una idea de las necesidades de vivienda y energía para la población futura (Ramales O. et al., 2018). No obstante, la orientación del marco actual hacia la vivienda de nueva construcción podría dejar en el abandono a los millones de edificaciones existentes con gran potencial de ahorro energético y que albergan a hogares en pobreza energética.

Acceso y demanda energética para el confort térmico de la vivienda

El sector residencial es el tercer consumidor de energía final del país después de los sectores de industria y transporte (DOF, 2020). De acuerdo con el Balance Nacional de Energía, el consumo de energía de este sector se integra de seis fuentes: leña, gas líquido de petróleo, electricidad, gas natural, energía solar y querosenos (SENER, 2019a). El consumo y la elección de combustibles en el hogar se determinan en gran medida por la influencia de factores como el acceso a los combustibles y tecnologías, las condiciones climáticas de la región y los ingresos del hogar, mismos que se entrelazan de formas complejas. Dentro de cada contexto se manifiestan características particulares que intervienen en la toma de decisiones de energía, como lo son cuestiones culturales, de

política, comportamiento de los usuarios, tipo de vivienda y las condiciones de infraestructura, por mencionar algunos.

El ingreso del hogar es un elemento que fija la evolución del gasto y consumo energético del hogar, se distribuye en respuesta a las necesidades diferenciadas de servicios energéticos y otros factores como los ya mencionados. La fluctuación de gastos en energía varía entre las diferentes regiones de México, pero también entre los diferentes grupos económicos de una misma región geográfica (Grafica 1). De 1995 al 2015, en la región tropical del sur del país, hubo una reducción del gasto energético del 8.1% al 4.6% en el quintil mas bajo de ingresos, (CONUEE, 2018). A su vez, en la misma región el quintil mas alto aumentó su nivel de gasto energético en el mismo periodo, reflejando la desigualdad energética derivada del poder adquisitivo que provee un mayor nivel de ingresos, en contraste con su contraparte.

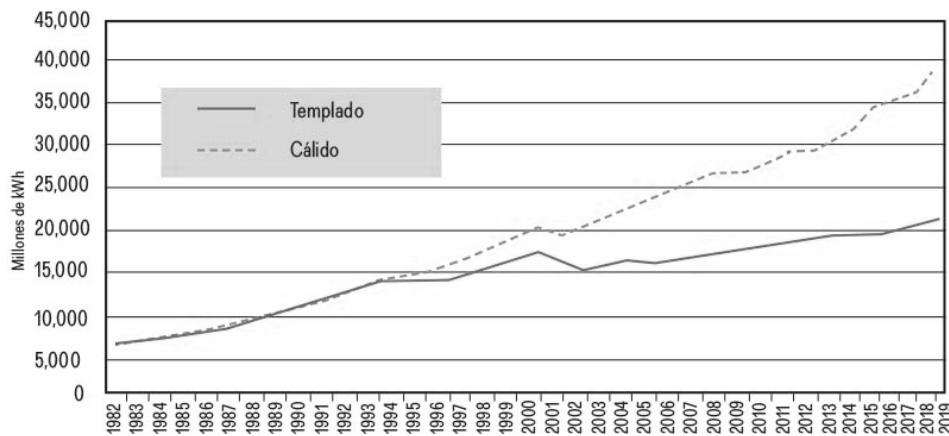
Por el contrario, en la frontera norte, la proporción de ingresos que se destinan al pago de facturas de energía ha incrementado en todos los niveles de ingresos excepto en el mas alto. Lo cual en buena medida se explica por las crecientes necesidades de energía, a precios mas altos y el aumento en el equipamiento en tecnologías de enfriamiento en la región. Que además de no representar un reto para los hogares de altos ingresos en cuestión de gastos, estos se benefician de la incorporación de elementos de aislamiento térmico y la adquisición de tecnologías altamente eficientes que reducen el uso energético generando ahorros (CONUEE, 2018). Por lo tanto, al hablar de ingreso y consumo energético de los hogares, es necesario analizar las condiciones de desigualdad energética que enfrenta el país, que se exacerban con el rezago tecnológico de los pobres y la presión que ejerce el cambio climático.

La ubicación geográfica de la población tiene consecuencias intrínsecas en el sistema energético residencial y define tanto sus posibilidades como sus restricciones. En el norte del país predomina el uso de gas líquido de petróleo y natural en comparación de la zona sur, debido a la concentración de sistemas de infraestructura y transporte. Como consecuencia, en los hogares en aislamiento aún prevalece el uso de biocombustibles sólidos como la leña, por la falta de acceso a otros combustibles.

Propio a la ubicación del hogar, es la zona climática distintiva de la región. Al 2019, el consumo de electricidad para confort térmico, en viviendas ubicadas en zonas de clima cálido, representaba el 35% del consumo total de las viviendas en México (De Buen &

Morales M., 2020). Los desarrolladores de vivienda construyen cerca de 225 mil viviendas al año en regiones de clima cálido, el consumo energético de estas viviendas es dos y hasta cinco veces mayor que el de las viviendas ubicadas en clima templado debido a las necesidades de confort térmico diferenciadas (De Buen, 2018).

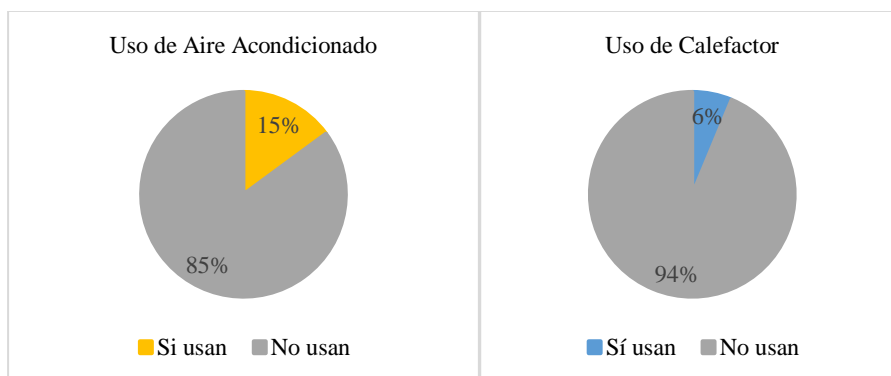
Gráfica 2. Evolución del consumo eléctrico residencial de la Comisión federal de Electricidad 1982-2019



Fuente: Tomada de De Buen & Morales M., (2020)

Para el 2019 la brecha entre el consumo de hogares de clima templado y cálido era equivalente a 16 millones de KWh (Gráfica 2) con una tendencia que aparentemente seguirá desarrollándose. Ya que, en zonas de clima cálido, particularmente en el Noroeste del país, el aire acondicionado representa el 60% de su consumo anual lo cual presiona la economía de las familias al igual que al erario, quién paga dos tercios del costo promedio del abastecimiento de energía eléctrica a esta zona. Suma que asciende a los 30,000 millones de pesos anuales para cubrir los costos que no cubren los usuarios en lo que corresponde a climatización en regiones de clima cálido (CONUEE & SENER, 2015). La propagación en la adopción de equipos de acondicionamiento interno residencial se ha disparado en la última década, en estas zonas, donde conforme los autores Davis & Gertler, (2015) la adopción de equipos aumenta con el nivel de ingresos, un 2.7% por cada \$1,000 pesos de ingreso anual del hogar. Para el año 2018, el 15% de las viviendas usaban aire acondicionado y solo 6% calefactor (Figura 6) (INEGI, 2018).

Gráfica 3. Viviendas que disponen de energía eléctrica y usan tecnologías de calefacción y enfriamiento de espacios

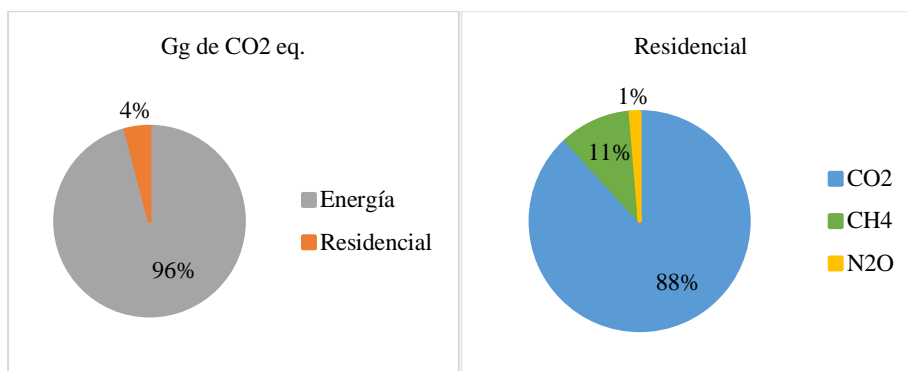


Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2018)

A pesar de que la presencia de equipos de aire acondicionado y calefacción en los hogares parezca insignificante, la CEPAL (2018) estima un incremento de 33.4% en un periodo de 15 años al 2015, en el consumo energético derivado del uso de aire acondicionado por metro cuadrado construido en las viviendas habitadas. Por otra parte, el consumo energético por calefacción ha incrementado en un 19.6% en el mismo periodo (CEPAL, 2018).

Aunado a lo anterior y desde un punto de vista ambiental, la energía que se genera para cubrir las necesidades de confort térmico en viviendas en clima cálido en México representa emisiones cerca de 7,500 Millones de Ton de CO₂eq al año, siendo responsable del 5% de las emisiones nacionales por generación de electricidad (CONUEE & SENER, 2015). No obstante los esfuerzos del gobierno para la adopción de combustibles limpios, y de la ampliación de la cobertura eléctrica, aún predominan otras fuentes como la leña, el carbón vegetal, y algunos petrolíferos (CEPAL, 2018). Debido en parte, a que la difusión de tecnologías del hogar que permiten el acceso a los servicios energéticos de una manera sostenible se limita a ciertos grupos sociales de ciertas regiones. La constante búsqueda de temperatura internas de la vivienda confortables lleva a los hogares de bajos ingresos a sacrificar inclusive la calidad del aire y con ello su salud a través del uso de combustibles contaminantes.

Gráfica 4. Gases de efecto invernadero por consumo de energía: subcategoría residencial



Fuente: Elaboración propia con datos del (INECC, 2018)

El uso de leña sigue creciendo aun más que el uso de electricidad con un 11% de hogares que le utilizan como combustible principal (INEGI et al., 2018). Lo anterior se ve reflejado en las emisiones del sector de energía, donde en el subsector de consumo residencial, la leña es una fuente emisora de gran importancia. El sector residencial es responsable del 4% de las emisiones de GEI por consumo de energía como ilustra la Figura 2. Del total de las emisiones, 64% correspondieron al consumo de combustibles fósiles, que generan un total emisiones Gg en CO2 eq. 20503.81 y 29.03 de carbono negro (INECC, 2018). Para mitigar las emisiones y avanzar en la reducción de pobreza energética es necesario trasladar las medidas y los beneficios de eficiencia energética, que en la actualidad son exclusivos de los hogares de altos ingresos, hacia la vivienda del estrato mas bajo y las regiones con mayor amenaza climática, y de forma paralela se reducirá la brecha y desigualdad energética.

Eficiencia energética en la edificación residencial existente

Las inhabitables temperaturas de algunas regiones y su consecuente alta demanda energética se recrudecen con la construcción de edificios sin consideraciones de confort térmico interno ni de las condiciones bioclimáticas de cada región (Medrano-Gómez & Izquierdo, 2017). Lo cual viola el derecho a la vivienda eficiente en el que “todos los ciudadanos de todos los perfiles económicos y socioculturales deben tener la posibilidad de acceder a una vivienda que no ponga en riesgo la satisfacción de otras necesidades básicas, con materiales y diseño de calidad” (CONEVAL, 2018). Con la intención de monitorear la calidad de la vivienda, la Comisión Nacional de la Vivienda (CONAVI)

calcula el “rezago habitacional” e incluye a la envolvente de la vivienda, como uno de los criterios indicadores de calidad y espacios (Tabla 1); el cual tiene dos subdimensiones: el material de construcción de la vivienda y sus espacios (CONAVI, 2010). De acuerdo con estos criterios, se considera como población en situación de carencia a las personas que residan en viviendas que presenten, al menos, una de las siguientes características:

1. El material de los pisos de la vivienda es de tierra.
2. El material del techo de la vivienda es de lámina de cartón o desechos.
3. El material de los muros de la vivienda es de embarro o bajareque; de carrizo, bambú o palma; de lámina de cartón, metálica o asbesto; o material de desecho.
4. La razón de personas por cuarto (hacinamiento) es mayor que 2.5.

Tabla 1. Categorización de materiales de la envolvente para el rezago habitacional CONAVI

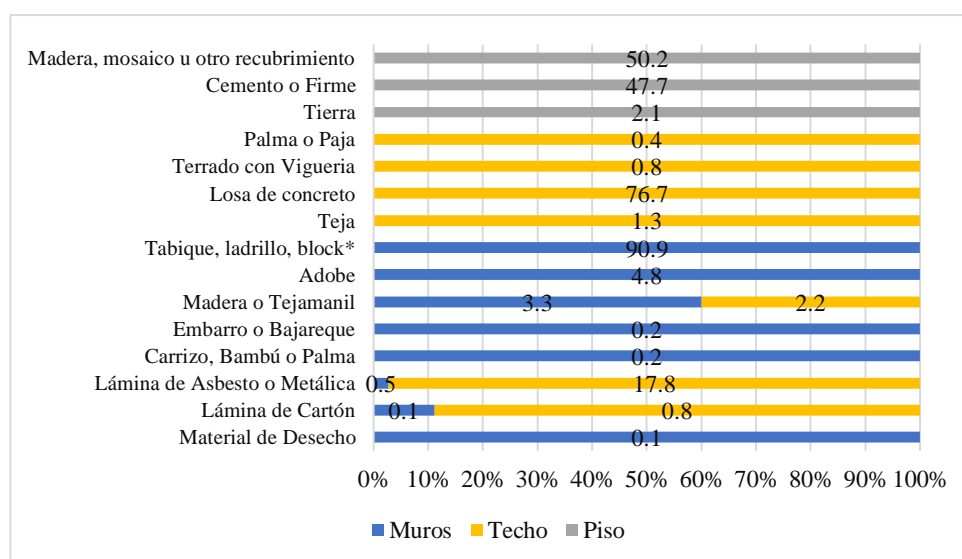
Material Eficiente	Material Reemplazable
Pared	
Adobe	Material de desecho
Tabique	Lámina de Cartón
Ladrillo	Lámina Metálica o de
Block	Carrizo, bambú, palma
Piedra	Embarro o bajareque
Concreto	Madera
Piso	
Cemento o firme	Tierra
Linoleum, congoleum o vinil	
Piso laminado	
Mosaico, mármol o vitropiso	
Madera, duela o parquet	
Techo	
Madera o tejamanil	Material de desecho
Terrado con viguería	Lámina de cartón
Teja	Lámina de asbesto
Losa de concreto o viguetas con bovedilla	Lámina metálica
Palma o paja	

Fuente: Tomado de CONAVI, (2010).

De forma similar, el CONEVAL incluye dentro de los indicadores de carencia social, la calidad técnica/constructiva de la vivienda misma, para así garantizar que los distintos elementos que constituyen la materialización del derecho a la vivienda cumplan con los estándares y calidad internacional, nacional y local (CONEVAL, 2018). El número de viviendas en condiciones de rezago habitacional se ha mantenido durante los últimos

años, pasó de 9.1 millones de viviendas en 2008 a 9.2 millones en 2016; sin embargo, el porcentaje que representan del parque habitacional se ha reducido hasta el 28%. Estos números indican que la atención a la vivienda en la última década ha estado enfocada en el interés de la demanda derivada de la formación de hogares y no en la mejora de la habitabilidad de las viviendas ya existentes (CIDOC & SIF, 2019). Ahora bien, el problema es tal que los hogares abandonan millones de viviendas nuevas, siendo una de las razones la construcción pobre y la baja calidad de los materiales (Medrano-Gómez & Izquierdo, 2017). El material de las paredes de la vivienda en México es en general de piedra, ladrillo, block, tabique, cantera, cemento o concreto (90.9%) y un pequeño porcentaje de material de desecho (.1%) (figura 5). El 76.7% de las viviendas tienen techo de losa de concreto, seguido de lamina metálica y asbesto (17.8%) y un pequeño porcentaje de palma o paja. En lo que concierne al piso de la vivienda, 50% tienen piso de madera, mosaico u otro recubrimiento, 48% de cemento o firme y 2% piso de tierra.

Gráfica 5. Material de las paredes, techo y piso de las viviendas en México 2018



*Incluye también piedra, cantera, cemento o concreto

Fuente:Elaboración propia con datos de (INEGI, 2018)

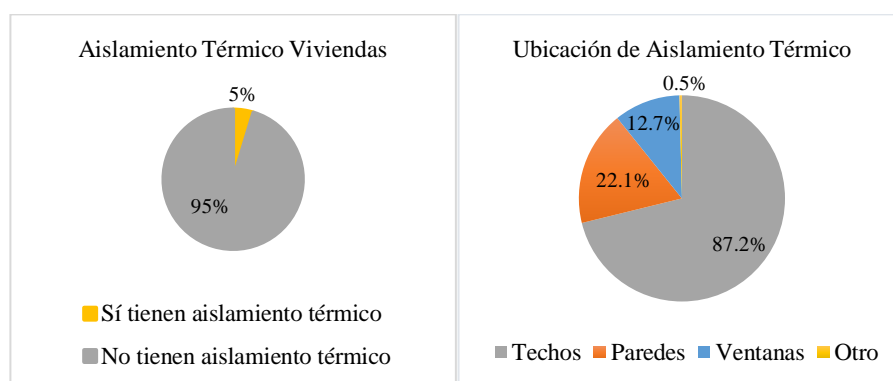
Se puede observar a través del tiempo el uso limitado de materiales de construcción, la restricción a un grupo específico de materiales con características específicas se debe a la búsqueda de reducción de costos por medio de la estandarización y producción en masa. Lo que ha llevado a la industria de la construcción en México al éxito, pero que tiene como resultado un porcentaje muy grande de viviendas con materiales de baja calidad y con características muy homogéneas, provocando aumentos en la demanda energética en

proyectos habitacionales ubicados en ciertas zonas geográficas (Jiménez, 2012; Renewables Academy, 2015). La estandarización de materiales sin consideraciones bioclimáticas ha llevado a la vivienda, particularmente a la de interés social, a un lock-in de materiales. La vivienda social ha tenido múltiples cambios en la tipología de construcción y el tamaño, además de los materiales, la vivienda ha sufrido cambios constantes en la disminución del metraje cuadrado por hogar y con ello, la reducción de costos para quién la construye (Jiménez, 2012), pero no para quien la habita. Un estudio de la GIZ demuestra que, según la tipología y la región, varía el desempeño térmico de las viviendas. Destacan en los resultados las demandas térmicas mas altas, que se presentaron en el municipio de Hermosillo para la vivienda dúplex y las mas bajas en Puebla en la vivienda adosada (Campos-Arriaga, 2011).

El problema no es solo que el sistema constructivo de la vivienda social obedece a intereses privados, los esquemas financieros para la adquisición de vivienda típicamente excluyen a la población de bajos ingresos y al 60% que trabajan en la economía informal. La precariedad de la vivienda social en masa y la exclusión de los que laboran en la informalidad, incita a la renta y la autoproducción de vivienda, misma que representa 64.2% de la producción de la vivienda del país y la que normalmente no contempla cuestiones de diseño sustentable y calidad de materiales (CONEVAL, 2018).

Para hacer frente a la ineficiencia del diseño y materiales de la vivienda, las tecnologías de aislamiento térmico son una excelente alternativa (Gráfica 6). Pero en el 2018, solo 5% de las viviendas contaban con aislamiento térmico y de estas en el 87.2% se encontraba en el techo de la vivienda.

Gráfica 6. Aislamiento térmico de la vivienda



Fuente: Elaboración propia con datos de ENCEVI (INEGI et al., 2018).

En general, las observaciones de la envolvente y aislamiento nos ayudan a entender, mas allá del efecto del clima, porqué a pesar de que el tamaño de la vivienda promedio ha disminuido a través del tiempo, el consumo de energía de los equipos usados para confort térmico se ha incrementado; tanto para enfriamiento como para la calefacción de las viviendas. Lo detallado en este apartado es evidencia de que la relación de la envolvente de la vivienda y el consumo energético excede las consideraciones de calidad y durabilidad de los materiales que caracterizan los organismos de vivienda y pobreza, por lo que es necesario asociar las cualidades de eficiencia energética de los materiales y la tipología según las zonas climáticas. Así como el fortalecimiento de programas de mejoramiento de vivienda con el objetivo de atender las necesidades de la envolvente de los millones de viviendas existentes, evitar el abandono de viviendas y reducir la pobreza energética por medio de la capacidad adaptativa al cambio climático.

Políticas de vivienda y regulación para la edificación

Las regulaciones en eficiencia energética de la vivienda tienen la capacidad de crear cambios significativos que a su vez generen un momentum para la mejora continua y la sostenibilidad; y que, de manera análoga podrían convertirse en una herramienta indispensable para la reducción y prevención de pobreza energética. Mientras que cuando éstas no sean dinámicas y adaptativas, pueden inintencionadamente llevar a las tecnologías de envolventes y aislamiento, y a la vivienda en sí, a un lock-in del que resulta complicado salir, y el cual además perpetuaría la pobreza energética en el país.

Desde los años 90's se emprendió la aplicación de programas con el ahorro energético como premisa, como el horario de verano, la entrada en vigor de las primeras NOM's con impacto en el sector residencial, mismas que daban exclusiva atención al ahorro energético por medio de electrodomésticos de conservación de alimentos, de enfriamiento de espacios e iluminación.

Para atender las necesidades de la vivienda existente, los organismos nacionales de vivienda han expresado interés político en el ahorro de energía por medio de la adecuación bioclimática de la vivienda existente (CONAFOVI, 2006). A través de la implementación de diversos programas de crédito y asistencia para los que se necesita cumplir con requisitos financieros (Tabla 2) (CEPAL, 2018).

Tabla 2. Programas de mejora de la envolvente²

Programa	Descripción	Tipo de Apoyo	Enfoque	Vigencia
Fideicomiso para el Aislamiento térmico de la Vivienda (FIPATERM)	Aislamiento térmico de viviendas	Créditos Vivienda Existente	Zonas clima cálido extremo (Usuarios de Mexicali y su valle)	1990-1997
Ahorro Sistemático Integral (ASI)	Aislamiento térmico, cambio de refrigerador y aire acondicionado	Créditos Vivienda Existente	Usuarios de todos los deciles que puedan cumplir con los requisitos de financiamiento, tarifas 1D, 1E y 1F en 6 gerencias regionales de CFE.	1997-2015
Hipoteca Verde - INFONAVIT	Medidas de ahorro de energía en la vivienda nueva entre los que se encuentra aislantes térmicos	Financiamiento: Monto extra en el crédito Vivienda Nueva y Existente	Crédito para derechohabientes Monto extra en el crédito INFONAVIT	2007- Vigente
Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMA) NAMA VE	Introducción de estándar de eficiencia energética para minimizar el consumo de energía primaria. Implementación de ecotecnologías, mejoras en el diseño arquitectónico, en caso de que se realice una ampliación, y la utilización de materiales constructivos de alta calidad térmica.	Financiamiento adicional en el crédito Vivienda Existente	Crédito para derechohabientes a través de “Mejoramiento de la Vivienda” CONAVI y “Mejoravit” INFONAVIT	2012- Vigente segunda fase: implementación a gran escala
Mejoramiento Integral Sustentable - FIDE	Aislantes térmicos, impermeabilizantes, ventanas térmicas, pintura reflejante	Subsidios Vivienda Existente	Propietarios de vivienda de hasta 5 salarios mínimos	2016-Vigente
Esta es tu casa CONAVI	Distintas medidas encaminadas a la reducción de consumo de energía eléctrica, gas y agua, como el aislamiento, calentador solar de agua y equipos, aparatos o accesorios eficientes	Financiamiento adicional o subsidio para cubrir los costos incrementales Vivienda Nueva de y Existente (Mejoramiento de vivienda)	Desarrolladores que cumplan con criterios mínimos de sustentabilidad y eficiencia energética y población de bajos ingresos.	2007-Vigente ³
Eco Casa de Sociedad Hipotecaria Federal	Estándares de diseño pasivo, se basa en el desempeño global de la vivienda. Herramienta SiSEVIVE.	Tasas preferenciales y apoyo a los proyectos y desarrolladores Vivienda Nueva	Constructoras que diseñaran viviendas que redujeran al menos 20% de GEI	2012- Vigente hasta 2017
Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMA) NAMA VN	Estándares de eficiencia (Eco Casa 1, Eco Casa 2, Eco Casa Max)	Incentivos financieros a dos diferentes grupos: subsidios a compradores de casas/propietarios y desarrolladores crédito puente Vivienda Nueva	Desarrolladores de viviendas principalmente para las familias de bajos ingresos que cumplan con los criterios a partir de su fase de diseño inicial. en paralelo con el programa de Hipoteca Verde de INFONAVIT	Se presentó en 2011- 2012 proyecto piloto- Vigente en la fase de implementación

Fuente: Elaboración propia con datos de (CANADEVI & Lean House Consulting, 2010; CONAVI & SEDATU, 2019; CONEVAL, 2018; De Buen et al., 2016; GIZ, 2012, 2013; GIZ et al., 2016a, 2016b; SEMARNAT, 2011; UNAM, 2013)

² Cabe mencionar la existencia de programas de financiamiento y subsidio para la vivienda desde antes que se hicieran consideraciones de ahorro energético, con el objetivo de mejorar la vivienda desde un enfoque meramente social. Mas que nada para hacerle frente al rezago habitacional per se y a la exclusión de los individuos de escasos recursos en la adquisición/construcción de vivienda formal. Por lo que no se incluyen en esta tabla a pesar de los posibles co-beneficios indirectos en el ahorro de energía y pobreza energética. En la NAMA VE se incorporan 2 programas de vivienda sin enfoque de eficiencia energética que se reforzaron al integrarse a la NAMA.

³ Durante sus 11 años de operación, “Esta es tu casa” ha presentado dos cambios en su nomenclatura. En 2013, se le nominó Programa de Esquemas de Financiamiento y Subsidio Federal para Vivienda y en el año 2014 se le denominó Programa de Acceso al Financiamiento para Soluciones Habitacionales, el cual se encuentra vigente (CONAVI & SEDATU, 2019).

Los programas rectores de la política pública en materia de mejoramiento de la envolvente enfocados a la edificación existente, han surgido debido a la presión evidente de las condiciones inhabitables de la vivienda social del país, se incorporaron al esfuerzo organismos de financiamiento y créditos que apoyan a los usuarios a pesar de las fallas en la construcción de su vivienda, que al no hacerse responsables los desarrolladores, se trasladan los gastos y consecuencias a los usuarios. Especialmente en regiones con altas temperaturas en donde la ineficiencia energética de la vivienda se manifiesta en las facturas eléctricas. Programas como el que desarrolló por primera vez en México FIPATERM que se enfocaron en ofrecer el apoyo a habitantes de la zona de Mexicali y que en 1997 se cambió el nombre a Programa ASI, el cual operaba en diferentes regiones de la República otorgando créditos para mejoras de aislamiento térmico en la vivienda existente. De forma similar, en 2016 el programa Mejoramiento Integral Sustentable, esfuerzo del Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) surgió con el propósito de otorgar subsidios para aislantes térmicos, impermeabilizantes, ventanas térmicas y pintura reflejante, para familias de bajos ingresos, a diferencia de otros programas carentes de enfoque socioeconómico.

Posterior al surgimiento de programas de mejoramiento se inició la regulación del uso eficiente de la energía en la vivienda el 18 de agosto de 2009, con la publicación en el Diario Oficial de la Federación de la Norma Mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009. Esta norma mexicana es de carácter voluntario pero obligatoria para desarrolladores de vivienda que busquen subsidio federal a través del programa Ésta es tu Casa, de la CONAVI, o de la Hipoteca Verde, del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT). Para mejorar las condiciones de habitabilidad de la vivienda y reducir la demanda energética para confort interno, la NMX-C-460-ONNCCE establece las especificaciones de resistencia térmica total (valor R) que deben cumplir las viviendas a través de su envolvente de acuerdo con la zona térmica de ubicación (Bucio M., 2010).

Unos años después, la CONUEE desarrolló la NOM-020-ENER con el objetivo de limitar la ganancia de calor de los edificios para uso habitacional a través de su envolvente, y con ello disminuir el uso de aparatos de refrigeración. Aplica a todos los edificios nuevos para uso habitacional y las ampliaciones de los destinados a uso habitacional existentes (De Buen & Morales M., 2020; DOF, 2011). Si bien el establecimiento de este tipo de

normas expresa un cambio en la visión de remediación a una de prevención, el éxito de los esfuerzos para la normatividad de la envolvente en la construcción de viviendas nuevas y en ampliaciones, se ha visto mermado por los complejos requerimientos financieros para acceder a los créditos, la falta de asesoría en las diferentes opciones de aislamiento y el nulo monitoreo del impacto de estas medidas, además de la incredulidad de las desarrolladoras, su resistencia al cambio y a la aplicación de normas que son de por sí permisivas. Por otra parte, afirman los autores Alpuche C. & Duarte A., (2017) la ineficiencia de la envolvente en las viviendas de construcción masiva debido a las diferencias bioclimáticas en las regiones y la debilidad de la NOM-ENER-020-2011 ante climas extremosos y la omisión de el uso de calefacción en la vivienda.

En respuesta a lo anterior, se diseñó el programa NAMA. Mismo que se compone de una serie de programas transversales en materia de vivienda sustentable: la NAMA de vivienda nueva (NAMA VN), NAMA Urbana y NAMA Vivienda Existente (NAMA VE). Las NAMA's son actividades voluntarias enfocadas en reducir las emisiones de GEI de los países en desarrollo, que a diferencia de otros programas con orientación al impulso de ciertas eco-tecnologías, la NAMA VE se basa en un diagnostico energético de "desempeño global" de la vivienda, por medio del uso de herramientas tal como el SISEVIVE para calcular la demanda energética, en otras palabras, la energía necesaria en términos de energía primaria y sus emisiones (GIZ et al., 2016b). Estos valores límite se definen para cada tipología de vivienda y zona climática.

La NAMA VE está dirigida a aquellas viviendas que no han recibido mantenimiento apropiado y que no fueron construidas con consideraciones de eficiencia energética, por medio de asesoría de acuerdo con un plan maestro de acción y de manera unilateral con los programas de mejoramiento de la vivienda de CONAVI e INFONAVIT (Tabla 2). El plan maestro de rehabilitación paso a paso primero hace intervenciones de carácter urgente sin consideraciones de eficiencia energética, posteriormente introduce electrodomésticos eficientes y dependiendo del clima, se incorporan elementos de aislamiento térmico, hasta llegar a la rehabilitación completa de la vivienda de interés social. El esquema de asesoría energética garantiza que se tomen las decisiones adecuadas para la vivienda en cuestión y así se generen los ahorros esperados (GIZ et al., 2016b). Este programa tiene el potencial de orientar al sistema político hacia la vivienda social existente, evitando acciones discriminatorias y generando soluciones que se adecuen a las

necesidades diferenciadas de la vivienda. No obstante, la naturaleza de la NAMA sea la de reducir emisiones, tiene consecuencias involuntarias para la pobreza energética en México.

Fundamentos teóricos y conceptuales

Pobreza energética: enfoques y metodologías

El Observatorio Europeo de Pobreza Energética describe a un hogar en pobreza energética cuando “*experimenta niveles inadecuados de servicios esenciales, debido a la combinación de altos gasto en energía, bajos ingresos, edificios y electrodomésticos ineficientes, y necesidades energéticas específicas del hogar*”(EEPO, 2016). Originalmente, el concepto surgió en Inglaterra como “pobreza de combustibles” debido a la inhabilidad de los hogares de mantener temperaturas confortables y saludables durante los crudos inviernos en el interior de sus viviendas. El concepto se ha trasladado a las diferentes características de cada región, ya que la pobreza energética es moldeada por el clima, el mix energético, cultura, tradiciones y niveles de desarrollo del país.

Este fenómeno tiene la habilidad de adaptarse a cada contexto y es intrínsecamente ligado a varios elementos de nuestra vida diaria y de política, por lo que su análisis y la forma en que se aborda en la literatura y en la toma de decisiones es muy diversa. Comúnmente en los países desarrollados se define como la pobreza de combustibles y en países en desarrollo como la falta de acceso a la red eléctrica o la dependencia de la quema de biomasa solida en estufas ineficientes y contaminantes. Con el tiempo se ha ampliado el alcance y aproximación de los estudios e interpretaciones mismos que tienen a su vez ventajas y limitaciones.

En la siguiente tabla se concentran de forma general las diferentes aproximaciones a la pobreza energética en el que se ha omitido el indicador acceso ya que en este ensayo se le considera como uno de los factores determinantes, no el objetivo final⁴.

Tabla 3. Enfoques de estudio de pobreza energética

Tipo	Alcance	Medición
------	---------	----------

⁴ Puesto que apreciar como equivalentes, el tener acceso a la red eléctrica y la pobreza energética, sería reducir todas las dinámicas del sistema energético domestico y la complejidad del fenómeno pobreza energética a un solo tipo de energía.

Entrada/inversión	Consumo de energéticos o el monto que se asigna al concepto energía (en Kwh o dinero)	Cantidad de dinero destinado a la compra de energía y de tecnologías de conversión
		Medición del consumo de energía total primaria o final
Resultado/producto	Captura las consecuencias de la privación de energía y tecnologías y lo que se realiza para obtenerlas	Impactos en la salud
		Costo de Oportunidad
		Costo Ambiental
		Ausencia de opciones
Medios y servicios	Las actividades y servicios que requieren energía y electrodomésticos para el acceso	Deprivación de servicios y necesidades básicas de energía
Calidad de la Energía	Los atributos del suministro de energía	Capacidad, duración, confiabilidad del servicio, calidad, seguridad y salud.

Fuente: Elaboración propia basado en (Culver, 2017).

De estos enfoques surgen métricas que miden la pobreza energética aislando una de las propiedades, por otra parte, existen métricas compuestas que hacen una combinación de propiedades y uso de indicadores para tener resultados mas completos como el Índice Multidimensional de Pobreza Energética (MEPI por sus siglas en inglés). Los autores Santillán et al., (2020) aplicaron la metodología MEPI que ha sido utilizada en otros países, caracterizando los hogares bajo diferentes dimensiones de servicios energéticos, e indicadores que capturan deprivaciones de energía en representación de los servicios básicos de energía, en base al estudio de Nussbaumer et al., (2012). Las dimensiones que utilizaron son: preparación de alimentos, iluminación, entretenimiento/educación, comunicación y los servicios que proveen los electrodomésticos. El estudio concluyó en que 30% de los hogares mexicanos vivían en condiciones de pobreza energética y 17% en pobreza energética extrema en el 2016. Complementando este esfuerzo, García (2016), condujo un estudio usando el enfoque de necesidades absolutas en el que resultaron 37% de los hogares en situación de pobreza energética. El autor caracterizó los hogares dependiendo de los servicios a los que teóricamente tiene o no acceso en contraste con los electrodomésticos y tecnologías que poseen.

Los estudios actuales se orientan hacia el acceso de servicios energéticos básicos del hogar y el consumo energético interno dependiendo de las tecnologías en electrodomésticos, omitiendo el ambiente en el que se lleva a cabo este consumo: la vivienda. Mas allá de la medición de la tasa de pobreza energética existe un sin número

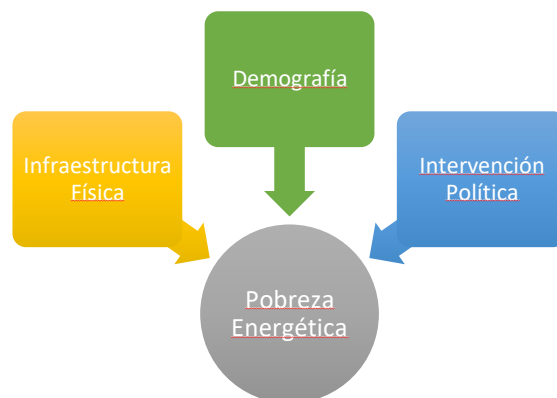
de determinantes que influyen en diferentes magnitudes y que al final del día son los que resulta imperante revelar para producir así las soluciones apropiadas.

La importancia de la infraestructura física de la vivienda y su eficiencia

Los humanos pasamos gran parte de nuestro tiempo dentro de un edificio, en su mayoría es en el interior de una vivienda. La vivienda es un espacio físico que debe brindar seguridad, descanso, bienestar y proteger de las condiciones climáticas externas. La situación de precariedad de la vivienda, afecta la salud física, mental y social de las personas, especialmente de los niños y ancianos, que constituyen la población más vulnerable (OPS, 2009), además de las mujeres que en algunas culturas funcionan como las cuidadoras del hogar y pasan la mayor parte de su vida dentro de la vivienda. Según recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), las temperaturas internas de la vivienda que oscilan entre los 18 y los 24 °C son ideales para la preservación del confort y salud de sus habitantes, la temperatura mínima para infantes, ancianos y otra población vulnerable asciende a 20 °C. De igual forma, la OMS manifiesta la asociación entre altas y bajas temperaturas internas, los efectos adversos a la salud y el aislamiento de la vivienda (World Health Organization, 2018).

Pero las condiciones de infraestructura de la vivienda no solo tienen efectos en la salud, impactan en la productividad de los habitantes y en el desarrollo económico del hogar. Según el estudio *Selecting Indicators to Measure Energy poverty* (Rademaekers et al., 2016), entre los factores que influyen en la pobreza energética se encuentra la infraestructura física, demografía e intervenciones de política (Ilustración 1).

Ilustración 1. Factores que influyen en la pobreza energética



Fuente: Elaboración propia con datos de (Rademaekers et al., 2016)

La infraestructura física incluye el stock de vivienda y la infraestructura de energía que le provee de energía. El consumo de energía se ve afectado por la eficiencia energética de la edificación, el tamaño de los hogares y la eficiencia de los electrodomésticos, así como la tenencia de la vivienda. Preston et al., (2014) en su estudio sobre las propiedades físicas de la vivienda y sociodemográficas de los hogares en el Reino Unido, expone las características de los hogares en pobreza de combustibles y resalta la ineficiencia energética del edificio y viviendas de vieja construcción.

De forma similar, Tardy & Lee, (2019), estudiaron el ambiente construido residencial para el contexto Canadiense y los efectos en la asequibilidad energética debido al inclemente clima del periodo invernal. El estudio describe esencial generar programas que estén diseñados a asistir hogares de índole social y de renta, en medidas de mejoramiento, ya que lo anterior contribuiría en el combate a la pobreza energética. En este caso como en muchos otros, se encontró que los dueños y administradores de viviendas en renta no se sienten incentivados a implementar medidas de eficiencia energética, por los gastos que implica y los beneficios transferidos a un tercero, como en el caso de las desarrolladoras.

Para el caso de estudio Griego en las viviendas Helénicas, los autores Boemi & Papadopoulos, (2019) dividieron la población en aquellos que están y los que no están en situación de pobreza e hicieron una investigación de pobreza energética consensual, en donde descubrieron que los hogares en pobreza habitaban viviendas con poca eficiencia energética y un 46.7% no podía costear la adopción de ninguna medida de eficiencia energética ni siquiera una de tipo rudimentario. En comparación de los no-pobres quienes ya inclusive habían invertido (49.75%) en medidas de mejoramiento de eficiencia energética. De estos estudios se puede deducir la importancia de las condiciones de la infraestructura física de la vivienda y en particular la eficiencia energética como protección de condiciones climáticas extremas y la prevención de pobreza energética.

La mayoría de las investigaciones concuerdan en que hay tres causantes que se combinan y provocan la pobreza energética, como se destaca en el estudio de Pye et al., (2012) y vemos en el siguiente diagrama:

Ilustración 2. Combinación de factores característicos de los hogares en pobreza energética



Fuente: Elaboración propia con datos de Pye et al., (2012)

Bouzarovski (2014) sugiere que la pobreza energética es el resultado de la intersección entre pobreza de ingresos, altos precios de energía y viviendas poco eficientes. Se ha hecho énfasis en como los hogares de bajos ingresos pueden caer en un círculo vicioso de pobreza energética al no poder costear viviendas y electrodomésticos eficientes, y como esto puede traer como resultado un incremento en el consumo de energía costosa que termina siendo desperdiciada (CEB, 2019). La eficiencia energética permite, especialmente a hogares de bajos recursos, a reducir el gasto energético y evitar situaciones de “comer o calentar”⁵ o simplemente brinda la posibilidad de dedicar ese ahorro al consumo de otros bienes.

La eficiencia energética es el uso de menos energía en la provisión de un mismo servicio. Además de la reducción del uso y gasto energético, la inversión en eficiencia energética puede traer consigo otros beneficios netos como ahorros al sector de salud, mejoras en la calidad del aire con la reducción de GEI, reducir estrés en los sistemas de energía, ayudar a fortalecer el GDP, la generación de empleos y el aumento de seguridad energética (EU 2016). El potencial de reducción de pobreza energética es innegable, mas es importante tomar en cuenta el efecto rebote que viene con la posibilidad de consumir mas energía para mejorar la calidad general del ambiente residencial. Ya que normalmente, los hogares de bajos ingresos limitan su consumo por la imposibilidad de costear, pero no

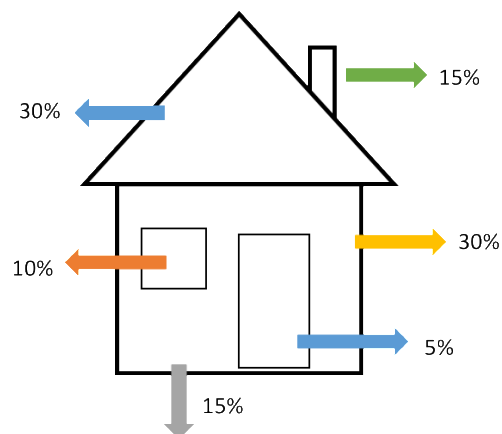
⁵ “Heat or eat” hace referencia a los sacrificios presupuestales en la toma de decisiones de la canasta básica del hogar como vemos en Bhattacharya et al., (2003).

precisamente porque todas sus necesidades de energía fueron satisfechas. Por lo que, el potencial de reducción de emisiones se pudiera ver mermado (CEB, 2019).

La envolvente térmica y el aislamiento de la vivienda

En la edificación, la eficiencia energética es la habilidad de sus diferentes componentes de retener calor y producir luz. Lo anterior incluye la eficiencia de sistemas activos y pasivos, los sistemas pasivos tienen la finalidad de lograr el acondicionamiento utilizando recursos y variables del diseño arquitectónico como orientación, envolvente, materiales de construcción, sol, viento, etc. y se distinguen porque no necesitan de energía para funcionar. La envolvente sirve de aislamiento térmico, es la piel que protege a los ocupantes de la temperatura, aire y humedad exteriores para mejorar su calidad de vida. Se trata de todos los elementos que se encargan de separar el interior del exterior de un edificio, estos son; techos, muros, piso, ventanas y puertas. (CONUEE & SENER, 2015). Cualquier fuga en las ventanas, puertas u otros huecos debilitan el aislamiento e impiden la hermeticidad de un edificio. Varios estudios sostienen y comprueban que la mayor parte del calor o frío se pierde o gana principalmente por los techos y muros (Ilustración 3), en donde el aire caliente trata de escapar en días fríos y trata de entrar en días calientes. De acuerdo con Bucio M., (2010) a través de estos elementos se transmite un 60% del total de las pérdidas o ganancias de calor de las edificaciones. Otro 15% de este flujo se da a través del suelo, hacia el terreno y viceversa, un 10%, a través del acristalamiento de las ventanas y por ventilación se pierde o gana alrededor del 15% restante (Bucio M., 2010).

Ilustración 3. Pérdida y ganancia de calor de la envolvente



Fuente: Elaboración propia con datos de Bucio M., (2010)

El uso de aislamiento térmico es una de las estrategias más efectivas para combatir el incremento de carga térmica dentro de un edificio, debido a que se adapta fácilmente a cualquier sistema constructivo y es relativamente sencilla su instalación, convirtiéndola en una solución extremadamente rentable y al mismo tiempo, genera condiciones de confort dentro de la vivienda con relativa facilidad (Mendoza C., 2016). Mas allá del ahorro energético, la disminución de costos y la temperatura confortable, el aislamiento térmico tiene otros beneficios como la reducción del desperdicio energético y reducción de emisiones, mejoras en la salud y descargar presión en el sistema nacional de salud y de energía. A lo que este ensayo propone anexar como beneficio la reducción de la pobreza energética.

Dependiendo de los materiales con los que estén construidas las diferentes componentes de la envolvente, éstas permitirán mayor o menor transferencia de calor entre el espacio habitado y el ambiente exterior. Garg et al., (2018) estima que el tipo de materiales que se utilizan para la envolvente además de considerar fuerza y resistencia deben valorar las condiciones climáticas de la región. En la elección de materiales además, priorizar aquellos que sean sustentables y locales, que mejoren el desempeño térmico, la eficiencia energética, la calidad del aire interno y la eficiencia de recursos (Garg et al., 2018).

La capacidad que tienen los materiales de conducir energía en forma de calor a través de un cuerpo depende de una propiedad conocida como conductividad (λ) (Tabla 4). La conductividad es una propiedad intrínseca del material, independiente de su forma o tamaño y sus unidades son W/mK (CONUEE & SENER, 2015).

Tabla 4. Valores para el cálculo de flujo de calor a través de la envolvente

Normas ISO	NOM-020-ENER-2011	Magnitud	Unidad SI
Valor U	Valor K	Coficiente de transferencia de calor	Watt por metro cuadrado Kelvin
Valor R	Valor M	Coficiente de aislamiento térmico	Metro cuadrado Kelvin por watt
λ	λ	Conductividad térmica	Watt por metro Kelvin
SC	CS	Coficiente de sombreado del vidrio	Valor adimensional

Fuente: Tomado de CONUEE & SENER, (2015)

Asimismo, el valor R es el aislamiento térmico total de una porción de la envolvente del edificio, de superficie a superficie, en m² K/W (DOF, 2011). Es la medida de la

resistencia al paso de calor de un material, entre mas alto el valor R, la mejor la resistencia al paso de calor, la mayor la efectividad de aislamiento (Bynum, 2001; Schwanse, 2012). Los materiales de uso frecuente en la construcción como el acero y el vidrio son buenos conductores de calor, es decir, son materiales que dejan traspasar el calor, que no aíslan; reduciendo la calidad de vida de aquellos que no pueden asumir gastos para utilizar equipos de aire acondicionado en su vivienda. Sin un aislamiento térmico, la energía térmica puede transmitirse de manera fácil del interior al exterior y viceversa.

Por esto, es muy recomendable recubrir la envolvente con un material que tenga una conductividad térmica (λ) baja, es decir, que mantenga la temperatura en el interior del edificio y se defina como un mal conductor de calor. La única función de los materiales aislantes es aislar ya sea térmica y/o acústicamente, mientras otros materiales como el concreto y acero cumplen con la función estructural. Teniendo en cuenta que lo que aísla no es el material, si no el aire, por lo que los aislantes contienen más del 90% de su volumen en aire. El aire está constituido por sólidos que forman pequeñísimos espacios, y le impiden su movimiento, lo que implica una baja conductividad térmica (Schwanse, 2012).

Existen varios elementos de la envolvente con capacidades y/o potencial de aislamiento. El aislamiento de muros, fachadas, techos y pisos consiste generalmente en la adhesión de materiales como poliestireno, fibra de madera, lana mineral, geotextiles, celulosa, corcho, burbujas de aire (por mencionar algunos), estos en forma de gránulos, bloques, paneles o planchas. Se aplican dependiendo de las condiciones, ya sea al interior o exterior o inclusive dentro de estos a través de la inyección de una solución aislante por medio de perforaciones. Brico (2019) asegura que las ventanas y puertas de las viviendas son los elementos más débiles y críticos de la envolvente, siendo una de las ventajas de inversión en este tipo de envolvente el que no necesariamente tienen que ser costosos y típicamente no requieren de grandes obras (Brico, 2019). Es muy importante el control solar y el uso de sistemas de protección solar para reducir el sobrecalentamiento que puede producirse en verano, como lo es el marco de la puerta y ventana, los materiales del que está hecho y su correcta instalación. El sellado óptimo de juntas y uniones de ventanas y puertas tienen diferentes funciones dependiendo del material, en las ventanas hay sellantes de silicona, bandas expansivas, cintas comprimidas, elásticos y espumas rígida y de aplicación localizada que normalmente se usan para aislamiento térmico.

Por lo que se refiere a superficies transparentes como cristales, la capacidad de aislamiento dependerá del tipo de vidrio, el número de vidrios y la cámara de aire entre ellos, por ejemplo, una ventana con vidrios de aislamiento térmico reforzado puede reducir hasta en un 70% las pérdidas energéticas de una vivienda. En cambio, opciones de control solar mediante elementos de sombreado, persianas y toldos como las películas de sombreado dan la opción de instalar como un aditamento extra que además tiene la ventaja de representar una inversión inicial menor al remplazo total de ventana/puerta y el de brindar confort lumínico (Martin H et al., 2016). Otro rasgo que comparten puertas y ventanas es el marco, el material del marco y la correcta instalación. Uno de los materiales que resulta más eficiente es el aluminio y en la puerta en sí, se ha demostrado que el PVC ofrece el mayor aislamiento térmico. En un estudio de (IDAE, 2008) en el que se renovaron los marcos de ventanas y puertas se obtuvo un ahorro energético del 64% para marcos de PVC, del 60% para los de madera y del 49% para los metálicos RPT. Aunque para incrementar la seguridad también existen opciones de puertas de acero con relleno de espuma dura para no comprometer la eficiencia energética.

El aislamiento de fachadas y muros se debe procurar en zonas expuestas al exterior y zonas que colinden con parkings, locales, tejados no habitables. Se tiene que elegir el espesor de aislamiento más adecuado: cuanto mayor sea el espesor, mejor coeficiente de aislamiento térmico lograremos y mejor habremos aislado nuestra vivienda.

Para constatar las ventajas de diferentes tecnologías de aislamiento térmico se han efectuado múltiples estudios, que comúnmente se inclinan hacia la vivienda de interés social en México. Los autores Medrano-Gómez & Izquierdo, (2017), aplicaron en dos viviendas de interés social de climas húmedo y semi-húmedo, un método para evaluar las mejoras del confort térmico interno a través de mejoras del valor U de la envolvente. Los autores sostienen que una persona en una vivienda ineficiente consume un 31% más de energía eléctrica y genera .31 más toneladas de CO₂. Además, concluyeron que una vivienda con un sistema de aislamiento de 1" es capaz de reducir al 20% el consumo eléctrico y .45 toneladas de CO₂ por vivienda al año, lo que podría llegar a alcanzar una reducción del consumo en un 49.34% y 1.06 ton CO₂ por vivienda si se aplica un aislamiento en muros y techos de 3.5".

En consonancia y tomando como referencia el prototipo de la vivienda que se construye en base a la NOM-020 y 008, Mendoza C., (2016) evaluó el consumo energético derivado

de las condiciones estándar de la vivienda actual aplicando diferentes espesores de aislamiento que van de cero hasta cinco pulgadas en todos los muros de la vivienda. De modo que para un ahorro significativo y rentable, el autor recomienda instalar 1" en todos los muros (al igual que en el estudio de Medrano-Gómez & Izquierdo, (2017)), como resultado se obtuvo un 22% menos consumo de energía para refrigeración y un 32 % menos energía para calefacción (Mendoza C., 2016).

Más como hemos mencionado, las necesidades de la envolvente varían de vivienda en vivienda y obedeciendo al clima de la región. Por lo que, con el objetivo de generar resultados mas completos sobre mejoras de eficiencia energética, Low Carbon Architecture en el 2011 estudió diferentes medidas en 4 tipologías de vivienda social en 6 zonas bioclimáticas, en cada caso se realizó una simulación energética y se implementaron dos paquetes de medidas incluyendo costos. Interviniendo muros, techos y ventanas, los resultados mostraron que actuando sobre estos tres únicos factores se podían conseguir, en algunos casos, reducciones de la demanda energética de casi un 90%, en los climas más exigentes, como es el caso del clima cálido seco extremo (Hermosillo) y de 7-11% en la situación mas desfavorable. La vivienda adosada tiene el margen de mejora más amplio en todos los climas, en comparación con el resto de las tipologías. Este factor unido al hecho de ser la tipología más empleada la convierte en un objetivo claro para la rehabilitación energética en México (Campos-Arriaga, 2011).

Es indiscutible el potencial de alivio de pobreza energética en la elección de materiales y aplicación de aislamiento en la vivienda, así como las consecuencias negativas de la no-acción tanto en el sistema energético residencial como a nivel nacional. Bajo esta justificación, se presenta la siguiente metodología y análisis para explorar los vínculos entre la pobreza energética en los hogares mexicanos y las condiciones de la vivienda en que habitan.

Metodología

Naturaleza del Estudio

El presente estudio pretende describir las condiciones de eficiencia energética de la vivienda para el año 2018, con un enfoque en la envolvente. Busca, de igual forma, determinar relaciones entre indicadores de la vivienda y las características socioeconómicas, demográficas y de orden geográfico. A partir de la discusión previa, en

este trabajo se opta por una estrategia de análisis que primero propone una clasificación de la infraestructura de la vivienda, para después examinar el aislamiento de los diferentes elementos de la envolvente. Se estudiarán especialmente las relaciones de eficiencia energética de la edificación con la incidencia de pobreza energética doméstica desde una perspectiva de asequibilidad y gasto energético.

Muestra y Recolección de Datos

Los datos fueron extraídos de la Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas particulares (INEGI, 2018), 2018. Encuesta que a raíz de la transición energética, se llevó a cabo para identificar los patrones de consumo energético de las viviendas, hábitos y practicas de los usuarios. Está constituida por datos de las 32 entidades federativas del país y conformada por 19,480 viviendas, que representan a un total de 33.16 millones, que simultáneamente alojan a 34.7 millones de hogares. La ENCEVI incorpora indicadores sobre la envolvente de la vivienda que han sido parte de otras encuestas como la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH). La información sobre la envolvente de la vivienda se limita a conocer el tipo de material del que esta constituido en su mayoría el piso, el techo y las paredes. Además de conocer si la vivienda cuenta con aislamiento o no (Figura 3).

La ENCEVI (2018), captura también el panorama actual del uso de tecnologías de calefacción, enfriamiento, preparación y conservación de alimentos, tecnologías de entretenimiento y comunicación, así como las horas de uso y temporalidad. Se llevó a cabo del 8 de enero al 29 de junio del 2018 por lo que algunas preguntas se verán impactadas por la temporalidad del cuestionario. Por ejemplo, la variable “gasto en electricidad” “gasto energético” reflejará el periodo invierno-primavera. Estimando la sensibilidad de la demanda energética a los cambios climáticos de las estaciones, podemos deducir un error en la evaluación derivada de las encuestas.

La tabla 5 presenta una lista de las variables utilizadas en este estudio, frecuencias y porcentajes.

Tabla 5. Estadística descriptiva de variables en el estudio

Indicadores	Frecuencia	%
Estrato Socioeconómico		
Bajo	5,676,276	17.1
Medio - bajo	16,940,143	51.1

Medio - alto	7,195,087	21.7
Alto	3,350,642	10.1
Material Muros:		
Material de desecho y cartón	45,905	.1
Lamina de asbesto o metálica	150,721	.5
Carrizo, bambú o palma, embarro o bajareque	123,648	.4
Madera	1,096,532	3.3
Adobe	1,597,964	4.8
Tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto	30,147,375	90.9
Material Techo:		
Material de desecho	8,992	.0
Lamina de cartón	250,973	.8
Lamina metálica	4,405,709	13.3
Lamina de asbesto	1,489,738	4.5
Lamina de fibrocemento	6,512	.0
Palma o paja	127,666	.4
Madera o tejamanil	724,118	2.2
Terrado con vigería	275,173	.8
Teja	432,168	1.3
Losa de concreto o viguetas con bovedilla	25,441,099	76.7
Material Piso:		
Tierra	702,870	2.1
Cemento o firme	15,815,860	47.7
Madera, mosaico u otro recubrimiento	16,643,418	50.2
Aislamiento Techo:		
No sabe	117,013	.4
No	31,690,659	95.6
si	1,354,476	4.1
Aislamiento Muro:		
No sabe	100,648	.3
No	32,717,949	98.7
si	343,551	1.0
Aislamiento Puertas sellos:		
Si	1,593,915	4.8
No o no sabe	31,568,233	95.2
Tipo de Aislamiento Ventanas:		
Película de sombreado	44,803	.1
Doble cristal	140,285	.4
Otro y No sabe	12,646	.0
No tiene	32,964,414	99.4
Tipología Vivienda:		
casa única del terreno	24,807,420	74.8
casa que comparte terreno con otras	5,650,670	17.0
casa dúplex, triple o cuádruple	595,701	1.8
cuarto en la azotea de un edificio o no construido para	31,704	.1
departamento en edificio	1,614,327	4.9
vivienda en vecindad o cuartería	462,326	1.4
Antigüedad de Vivienda:		
≤ 10 años	7,418,365	22.4
>10 ≤ 40 años	16,578,458	50
>40 ≤ 80 años	2,391,720	7.2
>80 años	6,773,605	20.4
Metros Cuadrados de Construcción:		
Hasta 30 m ²	2,613,650	7.9
De 31 a 75 m ²	9,980,086	30.1
De 76 a 150 m ²	9,485,464	28.6
Mas de 150 m ²	3,490,388	10.5
No Sabe	7,542,560	22.9
Tenencia de Vivienda:		
Renta	5,016,410	15.1
Propia	20,492,875	61.8
Prestada	3,981,053	12
Propia, pero pagando	3,137,707	9.5

Intestada o en litigio	534,103	1.6
Aire Acondicionado:		
Si	4,980,985	14.8
No	28,253,163	85.2
Calentador:		
Si	2,060,528	6.2
No	31,101,620	93.8
Locación Rural o urbana:		
Urbana	26,079,169	78.6
Rural	7,082,979	21.4
Región Climática:		
Cálida Extrema	7,871,223	23.7
Tropical	7,451,314	22.5
Templada	17,839,611	53.8

Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2018)

Análisis y Tratamiento de Datos

Con base a la revisión de literatura y la recolección de datos, se identificarán los hogares en pobreza energética. Siendo el primer paso el tratamiento de datos en Excel para posteriormente generar un análisis empírico de la asequibilidad energética de los hogares (pobreza energética). Para los fines de este estudio definiremos pobreza energética como la imposibilidad de acceder a los servicios energéticos domésticos de una forma asequible, confiable y sustentable.

En base a la información descrita anteriormente en este ensayo, se propone el uso del enfoque de cálculo “Entrada/Inversión” y la métrica 2μ para calcular la tasa de pobreza energética (Rademaekers et al., 2016). La métrica 2μ , considera a un hogar en pobreza energética cuando su gasto en energía excede el doble de la media nacional en un periodo determinado. Esta métrica se distingue por discernir el gasto energético excesivo entre los hogares y puede sugerir información sobre la eficiencia energética de la vivienda (Rademaekers et al., 2016). La decisión de usar esta métrica obedece fundamentalmente a la limitación de datos disponibles, por lo que a falta de datos sobre ingresos de los hogares se utilizará el gasto energético como indicador de pobreza energética. La ENCEVI se enfoca en la vivienda como unidad de análisis por lo que carece de variables demográficas del hogar y omiten además de los ingresos, la composición de los hogares en viviendas donde habita más de un hogar. Por lo que asumiremos que las viviendas son habitadas por un solo hogar con los fines de poder equivalizar el gasto energético. La equivalización se hará en base a la escala modificada de la OECD (OECD, 2013).

De acuerdo con la literatura presentada y como describen los autores Rademaekers et al., (2016) la tasa de pobreza energética 2μ (1) se determinará de la siguiente forma:

$$2\mu PE = GE_h > 2[\mu(GE_h)] \quad (1)$$

En donde $\mu(GE_h)$ es la media del gasto monetario energético mensual y GE_h es el gasto monetario energético mensual actual por adulto equivalente que se integra por el gasto en electricidad, gas de cilindro y de tanque estacionario (GLP), gas natural, leña y carbón. En el tratamiento de datos y con el objetivo de homogeneizar la temporalidad del gasto energético entre los diferentes combustibles, se convirtieron los datos a gasto mensual.⁶ A pesar de ser considerada simplista para el cálculo de pobreza energética por algunos autores, los métodos aplicados en este estudio son los que actualmente se aplican en países Europeos por su comunicabilidad, viabilidad política y la accesibilidad de los datos.

Una vez obtenida la tasa de pobreza energética 2μ , se incorpora la variable “estrato socioeconómico” (Ver tabla 6) para obtener la tasa de pobreza energética por estrato. El estrato socioeconómico es determinante en este estudio, debido a que una de las críticas más recurrentes de la métrica 2μ es la inclusión de hogares de altos ingresos. Quienes tienen la posibilidad de gastar más en energía debido a las ventajas que les brinda su ingreso y por otro lado, podrían tener acceso a tecnologías y equipamiento eficiente que les permite un ahorro energético tal, que podrían por error considerarse como pobres energéticos (Rademaekers et al., 2016).

Posteriormente se incorporan los resultados de pobreza energética 2μ (2 veces la media de todos los estratos) a una regresión logística con los indicadores de eficiencia energética de la envolvente de la vivienda (ecuación 2), para descubrir el potencial de diagnóstico de pobreza energética. Los resultados se generará información descriptiva sobre eficiencia energética en el stock de vivienda en México. El modelo empírico es el siguiente:

$$\text{Logit} [P (Y_{te} = 1)] = \ln \left[\frac{P_i}{1-P_i} \right] = \beta_1 + \beta_2(Ais_{Techo}) + \beta_3(Ais_{Muro}) + \dots \in_i \quad (2)$$

$$\text{Logit} [P (Y_{eb} = 1)] = \ln \left[\frac{P_i}{1-P_i} \right] = \beta_1 + \beta_2(Ais_{Techo}) + \beta_3(Ais_{Muro}) + \dots \in_i \quad (3)$$

⁶ Las variables de gas líquido de petróleo de la ENCEVI se componen del gasto en GLP de cilindro y de tanque estacionario. Mismos que presentan información de la duración del gas en diferentes rangos que para los objetivos de este ensayo tuvieron que convertirse de la siguiente forma: 1,2,3,5,8 y 12 meses, para posteriormente poder generar datos de gasto mensual.

Para este modelo las viviendas fueron categorizadas en dos grupos (0,1) las viviendas que su gasto energético excede dos veces la media nacional (pobreza energética) y los que su gasto energético no excede dos veces la media (no – pobreza energética) de los estratos socioeconómicos bajo y medio-bajo (Y_{eb}), y de pobreza energética en todos los estratos (Y_{te}). En otras palabras, se llevaron a cabo dos regresiones logísticas, una en la que se sigue el formato original de la métrica 2μ (ecuación 2) y otra en la que se discriminan los hogares en pobreza energética de los estratos medio-alto y alto 2μ (ecuación 3) con el objetivo de obtener información específica de los hogares mas vulnerables.

Las regresiones *logit* son ampliamente utilizadas en los estudios de pobreza energética que abordan ingresos y gastos en energía de los hogares, ya que permiten discernir la población en pobreza energética, así como las probabilidades de pertenecer a la categoría 1, en este caso, pobreza energética. Lo anterior con el objetivo de estimar los parámetros de la ecuación de las variables independientes y la bi-categorica dependiente. Asociación u ocurrencia que se conoce como odds ratio, tasa de incidencia o fuerza de asociación. Para ejecutar la regresión logística usaremos el programa estadístico SPSS.

La siguiente tabla contiene las variables a considerar en el modelo empírico:

Tabla 6. Indicadores de eficiencia energética de la envolvente para la vivienda

Indicadores Eficiencia Energética Vivienda	Descripción
Material Muros: Material de desecho Lamina de cartón Lamina de asbesto o metálica Carrizo, bambú o palma Embarro o bajareque Madera Adobe Tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto	Material del que están hechas en su mayoría las paredes de la vivienda
Material Techo: Material de desecho Lamina de cartón Lamina metálica Lamina de asbesto Lamina de fibrocemento Palma o paja Madera o tejamanil Terrado con vigería Teja Losa de concreto o viguetas con bovedilla	Material del que está hecho en su mayoría el techo de la vivienda
Material Piso: Tierra Cemento o firme Madera, mosaico u otro recubrimiento	Material del que está hecho en su mayoría el piso de la vivienda
Aislamiento Muros	Aislamiento térmico en los muros para evitar exceso de calor o frio

Aislamiento Techo	Aislamiento térmico en el techo para evitar exceso de calor o frío
Aislamiento Puertas y/o Ventanas	El aislamiento en forma de sellos para evitar fugas de a/c o calefactor y aislamiento térmico para evitar exceso de calor o frío.
Tipo de Aislamiento Ventanas: Película de sombreado Doble cristal Otro	Tipo de aislamiento en las ventanas
Tipología Vivienda: casa única del terreno casa que comparte terreno con otras casa dúplex, triple o cuádruple cuarto en la azotea de un edificio departamento en edificio vivienda en vecindad o cuartería local no construido para habitación	Tipo de edificación de vivienda
Antigüedad de Vivienda	Año en que la vivienda fue construida
Metros Cuadrados de Construcción	Tamaño del terreno de la construcción del edificio en metros cuadrados
Tenencia de Vivienda: Renta Propia Prestada Propia, pero pagando Intestada o en litigio	La relación entre los residentes y la propiedad de la vivienda
Aire Acondicionado	Uso de equipos de aire acondicionado
Calentador	Uso de equipos de calefacción
Estrato Socioeconómico	Caracterización del hogar en consideración del nivel de ingresos
Locación Rural o urbana	Si la vivienda esta localizada en comunidad urbana o rural
Ubicación Geográfica	Estado y municipio al que pertenece la muestra
Región Climática**	Si la vivienda se encuentra en zona de clima cálido, tropical o templado

Fuente: Elaboración propia con datos de ENCEVI (2018) para los intereses de este estudio. Los materiales de la envolvente se clasificarán en cuanto a su conductividad térmica en base a los criterios de la NOM-020-ENER-2011, la NMX-046-ONNCCE, Cuitiño et al., (2015) y Guillén Guillén et al., (2018). Entidades federativas divididas en tres regiones, la región 1 comprende las entidades de Baja California, Baja California Sur, Coahuila de Zaragoza, Chihuahua, Durango, Nuevo León, Sinaloa, Sonora y Tamaulipas; la región 2 comprende las entidades de Aguascalientes, Colima, Ciudad de México, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán de Ocampo, Morelos, Nayarit, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tlaxcala y Zacatecas; y la la región 3 comprende las entidades de Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz de Ignacio de la Llave y Yucatán. Con respecto a la antigüedad de la vivienda, se optó por la construcción de una variable categórica con 4 rangos de antigüedad para diferenciar las viviendas que fueron construidas antes y después de la puesta en marcha de distintas normas de eficiencia energética, programas hipotecarios “verdes” y de mejoramiento de la vivienda. Se utilizó como categoría de referencia a las viviendas con antigüedad mayor a 80 años asumiendo que por su antigüedad tendrían mayores problemas de eficiencia energética. La localidad rural y urbana se determina dependiendo del tamaño poblacional.

Resultados y Discusión

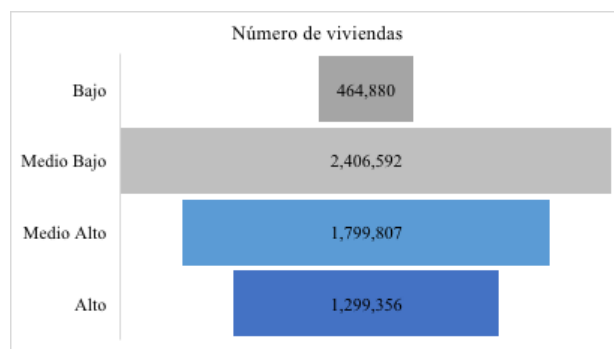
Cálculo de la tasa de pobreza energética con la métrica 2μ

La búsqueda de satisfacción de necesidades energéticas estimula el consumo y con ello el gasto. Las facultades que brinda un mayor ingreso en el consumo energético se manifiestan por medio de la reducción de limitaciones energéticas, lo que nos lleva a los hogares al goce de servicios energéticos. Esto sin tener que enfrentar complicados sacrificios en la balanza de bienes y servicios. Para los hogares de bajos ingresos esas facultades se reducen o desaparecen. En el proceso de intentar acceder a los servicios

energéticos domésticos, los hogares de bajos recursos se enfrentan a un contexto perverso que les sitúa en una posición de desventaja y los lleva a un consumo energético que inclusive puede rebasar el consumo del estrato alto.

La medición de la pobreza energética por medio del lente de la métrica 2μ , nos permite ver no solo que hogares exceden su gasto energético de una forma insostenible. Pero también a aquellos hogares que, aunque su gasto energético los lleve a la categoría de pobreza energética, es claro que son un grupo demográfico al que se debe dar un trato diferenciado en este tipo de estudios al igual que en la generación de programas y políticas.

Gráfica 7. Tasa de pobreza energética por estrato socioeconómico

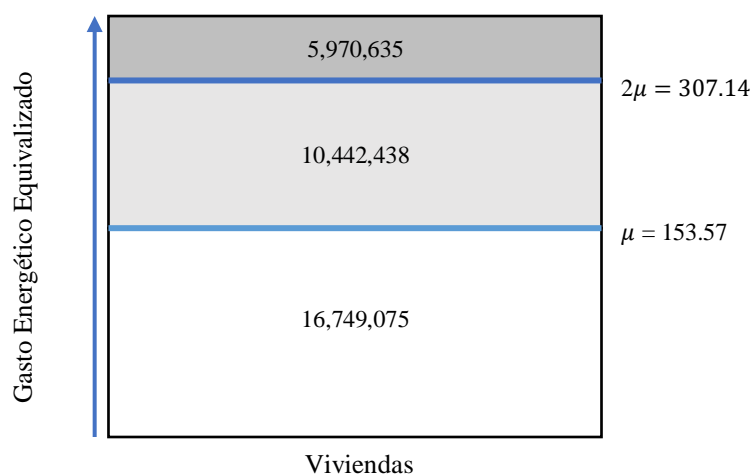


Fuente: Elaboración propia para los fines de este estudio

Como podemos observar en la gráfica 7, la población mas grande en pobreza energética 2μ se concentra en el estrato medio bajo. A pesar de que los hogares del estrato bajo parezcan reducidos, es importante recordar que estos son mas propensos a vivir en hacinamiento; así que las 464,880 viviendas en pobreza energética del estrato bajo realmente albergan a 1.4 millones de personas. El estrato medio bajo alberga a 7.68 millones de habitantes en pobreza energética, seguido de 5.4 y 4 millones de habitantes del estrato medio alto y alto respectivamente.

El cálculo de la tasa de pobreza energética arrojó un resultado de casi 6 millones de viviendas con gasto energético que excede dos veces la media nacional (Gráfica 8), equivalente al 18% de la muestra total y 12.7% de la muestra perteneciente a los dos estratos socioeconómicos mas bajos.

Gráfica 8. Pobreza Energética 2μ México 2018



Fuente: Elaboración propia para los fines de este estudio

Excluyendo los estratos socioeconómicos mas altos tenemos una muestra de 22,616,419 viviendas. De las cuales, 9.36 millones gastan en energía mensual arriba de la media nacional⁷ equivalizada, en este caso $\mu = 153.57$ y de estas, 2.87 millones exceden su gasto energético arriba de dos veces la media $2\mu = 307.14$. Es importante destacar que el gasto excedente (pobreza energética) de los estratos mas bajos, es mas alto que el 82% de la población de los estratos socioeconómicos medio alto y alto. Comparación que acentúa la desigualdad energética aún más.

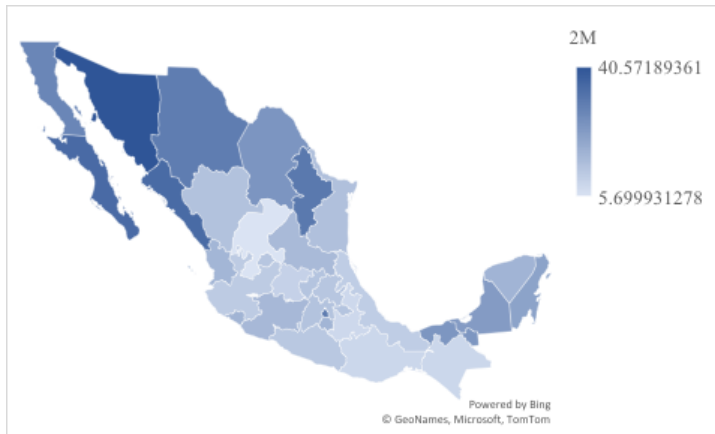
Por medio de la metodología 2μ se revelaron los hogares que asignan un monto excedente a la obtención de servicios energéticos domésticos. Los hogares en pobreza energética 2μ presentan una relación inelástica entre el gasto y la pobreza energética, en otras palabras, si la factura energética incrementa, destinan a su pago parte del ingreso que asignaban a otro bien o servicio. Sin embargo, existen diversos grupos demográficos con posturas en la toma de decisiones de asignación de ingresos, y con problemas de acceso energético y tecnológico, que no les permiten usar la energía de forma tal que se satisfagan en totalidad sus necesidades energéticas. Para estos hogares la demanda energética es elástica, ya que al encarecerse los servicios energéticos reducen su consumo.

Los 3 millones de hogares en pobreza energética 2μ de los estratos altos albergan a 9.42 millones de habitantes. No obstante, este grupo entre en la categoría de pobreza energética

⁷ La media nacional se calcula sin hacer distinción del estrato socioeconómico.

por su alto consumo de manera equívoca, el distinguirlos tiene el potencial de reducir emisiones contaminantes.

Ilustración 4. Porcentaje de la población en pobreza energética 2μ todos los estratos, por entidad federativa



Fuente: Elaboración propia para los objetivos de este estudio

De forma integral a la diferenciación de estratos, está la distribución geográfica del fenómeno. El Estado de México y la Ciudad de México exhiben el número mas alto de casos (pobreza energética) 636 mil y 775 mil viviendas respectivamente, mas al dimensionar con el tamaño de la población de la entidad sobresale el Estado de Sonora manifestando un 40.57% de las viviendas en pobreza energética por gasto excesivo. Un poco mas abajo le sigue Baja California Sur y Sinaloa con 35%, posteriormente la Ciudad de México y Nuevo León con 31% de las viviendas en pobreza energética 2μ . No obstante, aunque solo el 13% de la población del Estado de México viva en condiciones de pobreza energética 2μ , hay que considerar el tamaño de la población ya que este asciende a los 16 millones de habitantes y a 4.6 millones de viviendas.

Predicción del modelo de regresión logística

Con los datos disponibles a nivel nacional, podemos tratar de conocer la fuerza de asociación y el valor predictivo de las variables independientes con el fenómeno de pobreza energética 2μ a través de un modelo de regresión logística, cuyos resultados de los coeficientes del modelo de pobreza energética se describen en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados de los coeficientes del modelo pobreza energética 2μ todos los estratos socioeconómicos

Variables en la ecuación		2μ Todos los estratos			$2\mu_{eb}$ Estrato bajos		
		Nagelkerke .180			Nagelkerke .064		
		Poder predictivo 82.7%			Poder predictivo 91.3%		
		B	Sig.	Exp(B)	B	Sig.	Exp(B)
Infraestructura	Material de la Envolvente:						
	Techo						
	Material de Desecho	-0.884	.000*	0.413	-0.5	.000*	0.607
	Lámina de cartón	0.426	.000*	1.531	0.364	.000*	1.439
	Lámina Metálica	-0.102	.000*	0.903	-0.204	.000*	0.815
	Lámina de Asbesto	0.135	.000*	1.144	0.11	.000*	1.116
	Lámina de Fibrocemento	0.92	.000*	2.508	0.953	.000*	2.592
	Palma o Paja	-0.753	.000*	0.471	-1.279	.000*	0.278
	Madera o Tejamanil	0.076	.000*	1.079	0.286	.000*	1.331
	Terrado con Viguera	-0.133	.000*	0.875	0.062	.000*	1.064
	Teja	0.418	.000*	1.519	0.378	.000*	1.46
	Losa de concreto o viguetas con bovedilla	Categoría de referencia			Categoría de referencia		
	Muros						
	Desecho o Lámina de cartón	0.156	.000*	1.169	-0.146	.000*	0.864
	Lámina de Asbesto o Metálica	0.09	.000*	1.094	-0.057	.000*	0.945
	Carrizo, Bambú, Palma, embarro o bajareque	-0.36	.000*	0.698	-0.369	.000*	0.692
	Madera	-0.093	.000*	0.912	-0.176	.000*	0.838
	Adobe	-0.151	.000*	0.86	-0.05	.000*	0.951
	Tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento	Categoría de referencia			Categoría de referencia		
	Piso						
	Tierra	-0.766	.000*	0.465	-0.504	.000*	0.604
	Cemento o Firme	-0.434	.000*	0.648	0.041	.000*	1.042
	Azulejo, Mosaíco u otro recubrimiento	Categoría de referencia			Categoría de referencia		
	Aislamiento Térmico:						
	Techo						
	Si	0.756	.000*	2.129	-1.121	.000*	0.326
	No	0.524	.000*	1.689	0.079	.000*	1.082
	No Sabe	Categoría de referencia			Categoría de referencia		
	Muros						
	Si	0.583	.000*	1.792	0.865	.000*	2.374
	No	-0.041	0.007*	0.96	0.331	.000*	1.392
	No Sabe	Categoría de referencia			Categoría de referencia		
	Aislamiento Ventanas y Puertas:						
	Sellos	0.166	.000*	1.181	0.124	.000*	1.132
	Película de Sombreado	0.898	.000*	2.456	0.004	0.783NS	1.004
	Doble Cristal	0.641	.000*	1.898	-0.393	.000*	0.675
	Otro o No Sabe	0.675	.000*	1.965	-1.035	.000*	0.355
	No Tiene Aislamiento	Categoría de referencia			Categoría de referencia		
	Superficie Construcción:						
	No Sabe	-0.468	.000*	0.626	-0.254	.000*	0.775
De hasta 30 m2	-0.689	.000*	0.502	-0.425	.000*	0.654	
De 31 a 75 m2	-0.593	.000*	0.553	-0.306	.000*	0.737	
De 76 a 150 m2	-0.274	.000*	0.76	-0.079	.000*	0.924	
De 150 m2 mas	Categoría de referencia			Categoría de referencia			
Tipología de la Vivienda:							
Cuartería y vecindad	-0.263	.000*	0.769	0.243	.000*	1.275	
Comparte terreno	0.284	.000*	1.329	0.477	.000*	1.611	
Dúplex, Triple o Cuádruple	-0.111	.000*	0.895	-0.399	.000*	0.671	
Departamento en edificio	-0.029	.000*	0.972	-0.756	.000*	0.469	
Cuarto de azotea y no hecho p/habitar	0.003	0.846NS	1.003	-0.365	.000*	0.694	

	Única en terreno	Categoría de referencia			Categoría de referencia		
	Tenencia:						
	Rentada	-0.553	.000*	0.575	-0.907	.000*	0.404
	Prestada	-0.432	.000*	0.649	-0.33	.000*	0.719
	Propia, pero pagando	-0.541	.000*	0.582	-0.731	.000*	0.481
	Intestada o en litigio, otra situación	-0.571	.000*	0.565	-0.464	.000*	0.628
	Propia	Categoría de referencia			Categoría de referencia		
	Antigüedad Vivienda:						
	Antigüedad 0-10	0.167	.000*	1.182	-0.011	.000*	0.989
	Antigüedad 11-40	0.349	.000*	1.418	-0.022	.000*	0.978
	Antigüedad 41-80	0.007	.000*	2.241	-0.04	.000*	0.96
	Antigüedad 81+	Categoría de referencia			Categoría de referencia		
	Niveles de la vivienda	0.239	.000*	1.271	-0.061	.000*	0.941
Equipamiento/	Aire acondicionado	0.916	.000*	2.5	-0.888	.000*	0.411
Servicios	Calefacción	0.418	.000*	1.519	0.078	.000*	1.082
	Localidad Rural o Urbana	-0.274	.000*	0.761	0.071	.000*	1.074
	Región Climática:						
Geográficos	Cálida extrema	0.263	.000*	1.3	0.07	.000*	1.072
	Tropical	0.181	.000*	1.198	0.352	.000*	1.422
	Templado	Categoría de referencia			Categoría de referencia		
	Estrato Socioeconómico:						
Económico	Bajo	-0.873	.000*	0.418	N/A	N/A	N/A
	Medio Bajo	-0.742	.000*	0.476	N/A	N/A	N/A
	Medio Alto	-0.457	.000*	0.633	N/A	N/A	N/A
	Alto	Categoría de referencia			Categoría de referencia		
Demográfico	Número de hogares:	0.518	.000*	1.679	0.648	.000*	1.911
	Constant	-1.921	0	0.147	-2.222	0	0.108

El valor p es significativo dentro de los rangos (***) $p < .05$, (**) $p < .01$ y (*) $p < .001$ o no significativo NS.

Fuente: elaboración propia en el programa SPSS y con datos de (INEGI, 2018)

La tabla 7 exhibe la probabilidad de ocurrencia o el riesgo de que una vivienda viva en pobreza energética (Exp (B)). El poder predictivo del modelo de pobreza energética para todos los estratos (ecuación 2) es del 82.7% y la bondad de ajuste se midió con Nagelkerke R² y es de 18.8%. Para el modelo de pobreza energética de los estratos bajo y medio-bajo (ecuación 3) es de 91.3%, Nagelkerke R² 6.4%.

- Indicadores de infraestructura

La diferencia en temperaturas externas e internas es el elemento que determinará con más peso el consumo energético para el confort térmico de la vivienda. Esta diferencia depende de la eficiencia de la envolvente. Los resultados muestran una relación significativa entre los materiales de la envolvente y las probabilidades de pertenecer al grupo de pobreza energética. En el caso particular de 2μ las viviendas con techo de teja, fibrocemento, lamina de cartón, lamina de asbesto y madera o tejamanil tienen más probabilidades de incidencia que los de “losa de concreto o viga con bovedilla”. Destaca el techo de fibrocemento, ya que de alrededor del 26.7% de las viviendas con techo de fibrocemento están en pobreza energética. El resto de los materiales tiene una

relación negativa, ya que se trata de materiales que se distinguen en las viviendas con rezago habitacional. Pudiendo sugerir la imposibilidad de satisfacer sus necesidades energéticas, por ende, su gasto energético se reduce. Para la pobreza energética 2μ se observa un comportamiento similar en viviendas con techos de fibrocemento, lámina de cartón, teja, madera, tejamanil y lámina de asbestos. En este caso vemos que los materiales con influencia en la incidencia de pobreza energética son efectivamente los que se consideran en la categoría de rezago habitacional. Los autores Cravioto et al., (2014) en un estudio de servicios energéticos en dos locaciones de México, concluyeron que las viviendas con materiales de lámina de metal y madera tienen menos probabilidades de satisfacer sus necesidades energéticas. Seguido de las viviendas de adobe y con un mayor índice de satisfacción de necesidades energéticas, las viviendas de concreto o ladrillo.

En el caso de los muros para el caso 2μ , aquellos hechos de material de desecho o lámina de cartón, lámina de asbesto o lámina metálica, tienen ligeramente una mayor probabilidad de ocurrencia que las viviendas con muros de tabique, ladrillo, block, piedra y cantera. Los demás materiales tienen una relación negativa. De estos, se distinguen las viviendas con muros de carrizo, bambú, palma, embarro o bajareque con una probabilidad de ocurrencia menor. Cabe mencionar que, en coincidencia con los resultados del material del techo, los materiales que aumentan las posibilidades de pertenecer al grupo “pobreza energética” son considerados en rezago habitacional. En contraste con los resultados de $2\mu_{eb}$ muros de asbestos, lámina metálica, adobe, tabique, ladrillo, block, piedra y cantera muestran mayor probabilidad de ocurrencia. En los estratos bajo y medio-bajo no hay una precisa distinción entre materiales que se consideran en rezago habitacional y los que no. La mayoría de las viviendas tienen piso de cemento o cubiertas de tipo cerámico, azulejos o madera. Los materiales de azulejo y otras cubiertas aumentan las probabilidades de gastar en energía en exceso en el caso de 2μ , y para $2\mu_{eb}$ resulta casi indiferente el material del piso en la incidencia de pobreza energética. Por lo que podemos deducir que la influencia que tienen los materiales de la envolvente está más bien relacionada con las condiciones de precariedad general y no simplemente habitacional.

Un estudio sobre la adopción de electrodomésticos a través del tiempo en México, arrojó como resultados que las viviendas con piso de otro material que no fuese tierra y que tuviesen muros de concreto, aumentaban el número de electrodomésticos (Escoto Castillo

et al., 2016). Los estudios de pobreza energética que analizan el valor predictivo de materiales de construcción, usualmente examinan materiales naturales característicos de la localidad y su impacto en el desarrollo humano como el caso de Bridge, (2017) para el contexto Nicaragüense. Sin embargo, existen estudios bottom-up donde la caracterización de los valores técnicos de la envolvente se construye con mayor precisión debido al acceso a información privilegiada por parte de las desarrolladoras o al análisis in-situ de las edificaciones como es el caso del estudio (Campos-Arriaga, 2011; Sánchez-Guevara Sánchez et al., 2018). Asimismo, en los países donde se ha progresado bastante en la captación de datos específicos sobre energía y el stock de vivienda, se facilita la realización del estudio de la envolvente y su impacto en el bienestar social incluyendo el energético.

Los resultados del aislamiento 2μ y $2\mu_{eb}$ podrían sugerir que el gasto energético alto, empuje a los hogares a buscar opciones para el ahorro energético. Ya que podemos observar que, en el aislamiento del techo, es más probable que las viviendas que sí tienen y las que no tienen, entren dentro de la categoría de pobreza energética, en comparación con aquellos hogares que no poseen información sobre el aislamiento térmico del techo de su vivienda. Sin embargo, las viviendas con aislamiento en muros, puertas y ventanas y las que no saben si tienen, sostienen una mayor ocurrencia de pobreza energética. Ahora bien, hay que recordar que solo 4% de las viviendas tienen aislamiento en techos, solo 1% en las paredes y 1% en ventanas según las categorías de la encuesta (Tabla 6). Debido a la escasez de viviendas con aislamiento en la encuesta, sería erróneo asumir que el tener aislamiento en la vivienda no tiene impacto positivo en el ahorro energético.

La superficie construida en metros cuadrados nos indica que el gasto energético incrementa con el tamaño de la vivienda para ambos casos 2μ y $2\mu_{eb}$. Contrario a los estudios cuya población objetivo son los hogares en “pobreza energética oculta”⁸, o estudios en donde los gastos en energía empujan a los hogares debajo de la línea de pobreza, como en la métrica “Bajos-Ingresos, Alto-Costo”⁹ (LIHC por sus siglas en inglés). En estos estudios, entre más grande la vivienda, las probabilidades de vivir en

⁸ La pobreza energética oculta mide los hogares que su gasto/consumo energético es peligrosamente bajo (Rademaekers, Koen, Yearwood, Jessica, Ferreira, Alipio, Pye, Steve, Hamilton, Anisimova, 2014)

⁹ Low-income High-cost (Bajos-ingresos Altos-costos) captura los hogares que al pagar sus facturas energéticas cruzan la línea del bienestar.

pobreza energética decrecen, tal como presenta el estudio de Zaakirah & Khembo, (2015) para el contexto Sudafricano.

El efecto del tamaño de la vivienda en el consumo energético puede ser aminorado con el comportamiento de los usuarios. Mismo que, en hogares de ingresos altos es mas significativo en la formación de los patrones de consumo energético que las dimensiones de la vivienda o el tamaño del hogar (Palmer & Cooper, 2013). Típicamente, el tamaño de la vivienda incrementa con el nivel de ingresos, y el nivel de ingresos brinda la posibilidad de consumir mayores niveles de energía (Kavousian et al., 2013; Wyatt, 2013). Además, si la vivienda no es eficiente y es amplia, resultaría desafiante lograr alcanzar temperaturas confortables, aumentando el gasto energético.

La tipología de la vivienda es un indicador que comúnmente se utiliza en estudios de infraestructura y consumo energético. Según los resultados del estudio bottom-up de (Campos-Arriaga, 2011) diferentes tipos de viviendas tienen un desempeño energético mejor o peor dependiendo de las condiciones climáticas. A nivel nacional y desde una visión top-down, este estudio sugiere para el caso 2μ , que las viviendas que comparten terreno (mejor conocida como vivienda adosada) tienen mas probabilidades de gastar excesivamente en energía que las viviendas aisladas (que no comparten terreno). Las viviendas con otra tipología en contraste con la vivienda aislada reducen las posibilidades de tener gasto energético excesivo que los lleve a la pobreza energética 2μ . A diferencia de la pobreza energética $2\mu_{eb}$, donde las viviendas tipo vecindad, cuartería, semi-aislada y aislada aumentan la incidencia. Un número extenso de estudios concluyen que hay una relación lineal entre el nivel de separación de las viviendas (que tan aislada esta una vivienda de otra) y su consumo energético, como afirman los autores Wiesmann et al., (2011) para el contexto Portugués, Kavousian et al., (2013), Wyatt, (2013), Tiwari, (2000), Jones et al., (2015), entre otros. En el caso de estudio Británico, las viviendas en aislamiento, que típicamente tienen un mayor numero de paredes expuestas y ventanas, requieren de mayores niveles de energía por la perdida de calor en invierno, que las viviendas tipo apartamento (Palmer & Cooper, 2013). Sumado a esto, el efecto del tamaño de las paredes expuestas se acentúa en viviendas con múltiples niveles, se estima que por cada piso que tenga la vivienda las probabilidades de ser pobre energético 2μ aumentan. Lo que resulta casi indiferente para los hogares de los estratos bajos ($2\mu_{eb}$) ya que el aumento en niveles casi tiene el mismo efecto que si no se aumenta un nivel.

Un indicador que es intrínsecamente ligado a la pobreza energética es la tenencia de la vivienda. Algunos estudios muestran una incidencia de pobreza energética (por gasto energético reducido) en viviendas de renta, pero en este caso los resultados indican que los hogares que tienen vivienda propia son más propensos a la pobreza energética 2μ y $2\mu_{eb}$. Investigaciones sobre el gasto y consumo energético y su relación con la tenencia de la vivienda arrojan diferentes resultados en cuanto a su efecto en el consumo y la pobreza energética. Por una parte, la lógica indica que al ser dueños de una vivienda se tendría un ingreso residual más alto que permitiría un consumo mayor. Por otra parte, se podría destinar ese ingreso residual a la inversión en eficiencia energética. Puesto que, inclusive los dueños de vivienda tienden más a la internalización de los costos de energía, que influye la habilidad de invertir en eficiencia energética, en comparación con los hogares con otro tipo de tenencia como la renta de vivienda (Hamilton et al., 2013; Jia Li & Just, 2018). Más del 60% de la muestra afirmó tener propiedad de la vivienda que habitan, de los cuales, 4 millones están en pobreza energética 2μ . Se esperaría que los hogares con vivienda propia, pero que aún la están pagando y los que rentan, se encontraran en una disyuntiva de asignación de ingresos y que su consumo energético se redujera al restringirse el ingreso residual familiar.

El predictor “antigüedad”, como podemos observar en la tabla 7, estima que las viviendas construidas en el periodo 1938-1978 tienen mayores posibilidades de ser pobres energéticos por gasto energético alto. Aun cuando el número de viviendas en este rango de antigüedad sea el más pequeño (1.7 millones), el 39% están en pobreza energética.

El stock de vivienda más abundante comprende el rango de construcción 1978 – 2008. El número de viviendas asciende a 16.5 millones de los cuales el 20% están en pobreza energética 2μ . Las viviendas de reciente construcción (en los últimos 10 años, 2018 año base) muestran un comportamiento muy cercano al de las viviendas de más de 80 años en cuanto a las probabilidades de pertenecer al grupo “pobreza energética” 2μ . Lo anterior podría obedecer a la reducción del tamaño de las viviendas en México que mencionamos en la página 18, o a la incorporación de tecnologías más eficientes en las viviendas modernas. No obstante, el hecho de que las viviendas construidas entre 1938-2018 tengan más probabilidades de vivir en pobreza energética $2\mu_{eb}$, puede indicar una brecha tecnológica entre las viviendas de los estratos altos y las viviendas de interés social de los estratos bajos de los años 1978 en adelante de acuerdo a la categorización de la

variable. Es decir, que las viviendas construidas en el periodo 1978 – 2018 cuyo mercado es la población de ingresos altos, se hicieron con niveles mas altos de eficiencia energética que las viviendas mas económicas, o quizás también refleje el poder adquisitivo de estos grupos y la capacidad de equipar y mejorar sus viviendas. Adicionalmente, al indagar en los datos se reveló que aproximadamente el 52% de las viviendas construidas a mas tardar en 1938, su tenencia corresponde a la renta. Lo que podría estar encubriendo a un grupo poblacional, que a pesar de habitar viviendas que por su antigüedad son potencialmente menos eficientes, su gasto energético no corresponde a las demandas de su entorno construido. Estos hogares estarían sacrificando el acceso a los servicios energéticos, y su confort interno, para poder costear los gastos de renta.

Los datos y resultados, además, advierten sobre la desinformación de los encuestados en cuanto a envolvente y tipos de aislamiento. Con lo cual podemos inferir las fallas en la culturización y diseminación de información en la población en general sobre la importancia del aislamiento térmico. Igualmente se observa que en la encuesta especial ENCEVI se utilizan preguntas para obtener información sobre materiales de la envolvente y aislamiento, de la misma forma que se incorporan en otras encuestas especiales como la ENVI (Encuesta Nacional de Vivienda 2014), la ENIGH (Encuesta Nacional de Ingresos y gastos de los Hogares) y la ENH (Encuesta Nacional de los Hogares) que se aplican de forma regular. El objetivo general de la ENCEVI es el conocer los patrones de consumo energético con el fin de identificar el nivel de pobreza energética real y como uno de los objetivos particulares es el de *“Caracterizar los elementos estructurales de la vivienda y su relación con el consumo de energía”*. Esto sugiere que los datos sobre envolvente y aislamiento tuviesen un enfoque energético, en el que se especificaran las propiedades de los materiales y dimensiones de la envolvente. Pero, por una parte, no se incluye información sobre el tipo de aislamiento en techos y muros, antigüedad de aislamiento ni dimensiones de ninguna clase. Por otra parte, la categorización de materiales de construcción impide hacer distinciones de los materiales de mayor uso en el país. En cuanto a las ventanas y puertas, se menciona el vidrio de la ventana y sellos, pero se ignora el material del marco, material de puerta y dimensiones de ambas. Además, las categorías de tecnologías de aislamiento son muy reducidas.

En encuestas de otros países como la “Encuesta de Vivienda Inglesa” (English Housing Survey) se obtiene información sobre las circunstancias de vivienda y las condiciones de

eficiencia energética de las viviendas (Allison, 2020). Dentro de éste se calcula un estándar de decencia de vivienda que incluye el tener un grado razonable de confort térmico a través de una vivienda eficiente, sistema de calefacción eficiente y aislamiento efectivo. De forma complementaria, la tasa de pobreza energética engloba aspectos de la envolvente de la vivienda que provee la misma encuesta (EHS) y datos de valores U (ver Tabla 4). Para poder hacer los cálculos es necesario conocer:

- Áreas internas y externas de muros
- Área del techo
- Área de los cuartos
- Perímetro del edificio
- Altura del techo
- Áreas de ventanas y puertas

Al captar estos datos, es posible determinar los requerimientos de energía de los edificios y calcular la pérdida y ganancia de calor utilizando valores U. La recopilación de esta información y la construcción de una base de datos con características técnicas de eficiencia energética de la vivienda sugiere Thomson et al., (2017) es un indicador y tema de alta prioridad para la medición de pobreza y vulnerabilidad energética.

- **Indicadores de equipamiento/servicio de acondicionamiento de espacios:**

Una de las aportaciones de este estudio a la literatura existente en pobreza energética es la acentuación del fenómeno con las necesidades de enfriamiento de espacios. Una vivienda con bajos niveles de eficiencia en la envolvente induce al gasto energético elevado por acondicionamiento de espacios. Cuando no se tienen los recursos para incurrir en este gasto, los hogares se ven obligados a vivir en incomodidad y a la exposición a problemas de salud. En este estudio el utilizar equipo de aire acondicionado y calefacción tiene influencia alta en la predicción de pobreza energética 2μ en las viviendas mexicanas. Las viviendas con aire acondicionado tienen una tasa del 2.5 mas probabilidades y las que tienen calefacción una tasa del 1.5 en comparación con las que no tienen. Se debe prestar especial atención al rol de la envolvente eficiente y el uso de equipos de acondicionamiento de espacios, ya que las modificaciones en los patrones climáticos, especialmente en las variaciones de temperatura derivadas del cambio

climático, han modificado las necesidades de confort en la vivienda (Jianglong Li et al., 2018). Sumado a esto, con el tiempo las tecnologías de acondicionamiento se hacen mas accesibles a los usuarios, lo que se ha reflejado en el incremento en la adquisición de aires acondicionados principalmente. En contraste con los resultados de $2\mu_{eb}$ ya que las viviendas con aire acondicionado presentan menos probabilidades de incidencia, lo cual podría explicarse por la relación que existe entre la localización geografica de las viviendas que típicamente tienen este equipamiento y los altos subsidios al consumo. Lo que incide en el gasto energético y en la pobreza energética de forma temporal. Adicionalmente, para los estratos bajos no hace mucha diferencia el tener calefactor o no tener calefactor.

- **Indicadores geográficos:**

Otra variable que se estima tendrá influencia significativa en la pobreza energética 2μ es la región climática. De acuerdo a un estudio de pobreza energética por privación de servicios energéticos de los autores García Ochoa & Graizbord Ed, (2016), el clima de la región donde se ubique el hogar está relacionado de forma directa con la privación del servicio energético de confort térmico. Además, existe un sinnúmero de estudios que relacionan las condiciones climáticas con el consumo energético. En base a las 3 grandes regiones climáticas que utiliza la ENCEVI, se obtuvo que las probabilidades de tener gasto excesivo en energía aumentaban al pertenecer a la región cálida extrema con una tasa mayor. Esto en comparación con las viviendas de clima templado para el modelo 2μ . En cuanto a la pobreza energética $2\mu_{eb}$ el clima tropical tiene mas influencia.

De forma similar, la ubicación geográfica con respecto al tamaño poblacional determina si una localidad es rural o urbana. Los resultados en la literatura varían dependiendo de la base de la pobreza energética. El 77% de las viviendas con aislamiento en techo y muros se ubican en localidades urbanas. Pero además en las localidades urbanas se concentran la mayoría de las viviendas de la región cálida extrema, el uso de calefacción y aire acondicionado, los estratos mas altos y casas mas antiguas. En contraste, el sector rural destaca en la muestra por reunir el mayor numero de techos de asbesto y lámina metálica. El 80% de las viviendas rurales son “única en el terreno”, y población perteneciente a los estratos mas bajos. El modelo logístico 2μ indica que las viviendas en localidades rurales tienen menos probabilidades de gastar en energía de forma excedente

en comparación con las viviendas urbanas. Usualmente en estudios de consumo energético alto se determina que las localidades urbanas destinan un ingreso mas alto a la satisfacción de necesidades energéticas, ya que los residentes urbanos consumen mas electrodomésticos (Escoto Castillo et al., 2016). La urbanidad nos brinda acceso a otro tipo de combustibles, a una variedad de electrodomésticos y a oportunidades de empleo para costear la energía. Mas aún, se puede convertir en una situación de dependencia del sistema energético centralizado, calidad y precios (Zaakirah & Khembo, 2015). En contraste con los resultados del modelo $2\mu_{eb}$, que no muestran un cambio significativo en la influencia de habitar una vivienda en localidad rural o urbana.

- **Indicadores económicos y demográficos:**

Típicamente el tamaño del hogar obedece a las economías de escala, donde el gasto/consumo per cápita reduce a manera que incrementa el numero de habitantes del hogar, pero en términos absolutos aumenta el consumo energético del hogar (Walker et al., 2014). Lo cual fácilmente podría explicar el comportamiento de la variable “número de hogares”. Hogares de bajos ingresos que no tienen la posibilidad de costear los gastos que implica habitar una vivienda de forma independiente, usualmente recurren a la cohabitación de espacios. En los resultados vemos que entre mayor sea el número de hogares que cohabitan la vivienda, mas probabilidades de tener un gasto energético excesivo (2μ y $2\mu_{eb}$). El monto del gasto energético también depende de el número de integrantes que reciben ingresos y cuantos de estos se encargan de asignar un porcentaje al pago de facturas energéticas.

El estrato socioeconómico presenta una relación positiva con el gasto energético 2μ . Podemos observar el incremento de la tasa de pobreza energética entre el estrato bajo y medio-bajo, así como el de los estratos altos. Este indicador nos ayuda a distinguir en donde se sitúa la problemática de gasto excesivo y a hacer comparaciones entre estratos para entender la brecha entre hogares de distintos estratos.

Resumen resultados

La siguiente tabla presenta en forma breve los resultados de la influencia de los coeficientes del modelo:

Tabla 8. Hogares propensos a la pobreza energética 2μ

2μ Todos los estratos	2μ_{eb} Estrato bajo y medio-bajo
Hogares con vivienda propia	Hogares con vivienda propia
Viviendas de materiales sólidos en muros y techos	Viviendas con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, lámina de asbesto y metálica y adobe.
Viviendas con aislamiento	Viviendas con aislamiento
Entre mas amplia la vivienda, mas probabilidades	Viviendas con techos de fibrocemento, lámina de cartón, teja, madera o tejamanil, lámina de
Entre mas aislada (separada de otro edificio), mas probabilidades	Vivienda en vecindad o cuartería , semi-aislada (que comparte terreno) y aislada (única en terreno)
Viviendas que fueron construidas en el periodo de 1978 en adelante, entre mas cercano a 1978 mas probabilidades.	Viviendas sin sellos en puertas y ventanas
Entre mas niveles tenga la vivienda, mas probabilidades	La vivienda fue construida en el periodo de 1938 a 2018, entre mas cercana a 1938 mas probabilidades
Viviendas con aire acondicionado y calefactor	Viviendas sin aire acondicionado
Viviendas en localidades urbanas	Viviendas en clima tropical
Viviendas en clima cálido extremo y tropical	Entre mas grande la vivienda, mas probabilidades
Entre mas alto el estrato, mas probabilidades	Entre mas hogares compartan la vivienda, mas probabilidades
Entre mas hogares compartan la vivienda, mas probabilidades	

Fuente: elaboración propia

Conclusión

La ineficiencia y precariedad de la vivienda determinan la calidad del ambiente interno de la misma, y por ende también el consumo de energía de los hogares que la habitan. El objetivo de este estudio es medir la tasa de pobreza energética por gasto excesivo e identificar la vulnerabilidad de los hogares a la pobreza energética en base a la eficiencia energética del espacio que habitan. Los resultados exhiben que el 18% de las viviendas de la muestra están en pobreza energética, equivalentes a 6 millones de viviendas que albergan a 18.5 millones de habitantes. La concentración de pobreza energética se desarrolla en el norte del país, Valle de México y la Península de Yucatán. Especialmente en el Estado de Sonora, donde 40% de los hogares son pobres energéticos. En el análisis de la tasa de pobreza energética se distinguen dos grandes grupos. Primero, aquellos hogares que buscan satisfacer sus necesidades energéticas a pesar de que esto represente sacrificios en su presupuesto, ya que le asignan un valor mas alto a la energía, o sus necesidades energéticas son distintas a otros grupos poblacionales. Así como los hogares

de bajos ingresos que incurrir en gasto energético alto porque el espacio ineficiente que habitan no les deja otra alternativa. Segundo, los hogares que su nivel de ingresos les permite un alto consumo energético. Estos hogares incurrir en alto consumo energético, no precisamente obedeciendo a sus necesidades energéticas, pero a su poder presupuestal. Del segundo grupo también se derivan los hogares de altos ingresos con consumo excesivo de energía debido a la baja eficiencia energética de su vivienda.

Uno de los mayores retos de realizar un estudio top-down de las viviendas, fué la limitada disponibilidad de datos sobre la envolvente. Debido a la escasez de datos, sería erróneo asumir la correlación de características térmicas de los materiales y aislamiento del stock de vivienda en México, con las probabilidades de ser pobre energético 2μ . No obstante, los resultados de este análisis sí capturan información valiosa sobre las propiedades de la vivienda que habitan los hogares en pobreza energética. Podemos deducir en base a los resultados del modelo logit, que a pesar de que los predictores de la envolvente tienen una relación significativa en la determinación de pobreza energética, hay otros factores con mayor peso como el nivel de ingresos, el tipo de combustible, género, electrodomésticos, entre otros. Un factor determinante en el gasto energético para todos los estratos es la antigüedad de la vivienda, ya que entre más antigua más probabilidades de ser pobre energético por gasto excesivo. Lo cual nos habla de la eficiencia energética pobre de las viviendas antiguas, como ha ido mejorando con el tiempo, así como de la relevancia de las políticas de rehabilitación de viviendas para amortiguar el gasto y reducir la pobreza energética.

Destaca el hecho de que el tener aislamiento en la vivienda, no ha sido suficiente para prevenir el gasto energético excesivo. Mas no se debe subestimar el ahorro energético que podría estar generando a nivel desagregado. Sumado a esto, podemos observar que, como consecuencia de la autoconstrucción, existen viviendas de materiales precarios. Las cuales además de no proveer un ambiente digno que les proteja de las condiciones climáticas externas, llevan a los hogares a un gasto energético insostenible. Especialmente, las viviendas con techo de fibrocemento, lámina de cartón, teja, madera o tejamanil y lámina de asbesto habitadas por hogares de los estratos bajos. Se requiere la construcción de viviendas económicas con niveles altos de eficiencia energética para la protección de las familias en vulnerabilidad. La creación de programas de asesoramiento para los hogares que optan por la autoconstrucción, o planes de

financiamiento inclusivos para los que trabajan en la economía informal, para la obtención de una vivienda. Yace aquí la importancia de los códigos de construcción, la normatividad obligatoria y atención a la diferenciación de las condiciones climáticas de cada región. Se debe considerar en la construcción de vivienda, el valor de uso de esta, la relación de la vivienda con las actividades que se llevaran a cabo dentro de la misma, las necesidades energéticas que se van a satisfacer y como estas varían de forma regional.

Con el objetivo de reducir el abuso y desperdicio energético de los 3 millones de hogares en pobreza energética de altos ingresos, es necesario diseñar programas de eficiencia energética para incentivar la adquisición de tecnologías eficientes. Esto incluye mejoras a la envolvente de la vivienda y la instalación de tecnologías renovables para evitar la saturación del sistema nacional y la sobreexplotación de los recursos energéticos de forma innecesaria. Estrategia que es igualmente aplicable a los estratos bajos, con la diferencia de que los estratos altos tienen la posibilidad de financiar un mejor desempeño energético del edificio, y los estratos bajos dependerían del respaldo externo.

Para los estratos bajos se necesita el fortalecimiento de programas de mejoramiento a la vivienda existentes encauzados a los 2.87 millones de hogares en pobreza energética que exhibe este estudio.

Mientras no se le considere en el marco de política a la vivienda como un “sistema consumidor de energía”, y se entienda como el ambiente que modela las necesidades de uso energético para el confort interno, la reducción de emisiones por uso energético doméstico seguirá dependiendo del avance tecnológico en electrodomésticos. Encima de esto, las viviendas ineficientes continuarán cobrando factura a sus habitantes y al erario, perpetuando la pobreza y la desigualdad energética.

También resalta la importancia de la metodología que se utilice para medirla, ya que como pudimos comprobar la métrica 2μ no captura solo a hogares en vulnerabilidad energética. Por lo que tomar la decisión de considerarle como métrica oficial para el alivio y reducción de pobreza energética por gasto excesivo significaría millones de pesos en apoyo mal direccionado. Lo que se puede evitar al dirigir los apoyos a los deciles más bajos de la economía o a los estratos socioeconómicos bajos. Este estudio presenta resultados de uno de los múltiples rostros de la pobreza energética. Se requiere el estudio de las otras realidades energéticas de los hogares mexicanos y la exploración a fondo del ambiente construido como espacio para la satisfacción de necesidades energéticas. Una

transición energética con integración social real necesita partir de las necesidades energéticas de los hogares y conocer a fondo el sistema energético de la vivienda. Igualmente, precisa la captación de datos sobre las características de eficiencia energética de la vivienda que nos ayuden a entender el estado actual del stock de vivienda y su relación con el sistema interno doméstico energético.

Referencias

- Adams, M., Burrows, V., Richardson, S., Drinkwater, J., & Gamboa, C. (2019). *Bringing embodied carbon upfront*. www.worldgbc.org/embodied-carbon
- Al-Homoud, M. S. (2004). The Effectiveness of Thermal Insulation in Different Types of Buildings in Hot Climates. *Journal of Building Physics*, 27(3), 235–247. <https://doi.org/10.1177/1097196304038368>
- Allison, K. (2020). *Fuel Poverty Methodology Handbook 30 April 2020 Statistical Methodology*.
- Alpuche C., M. G., & Duarte A., Enrique, A. (2017). *Vista de la NOM-020-ENER-2011 en viviendas económicas ubicadas en diferentes regiones climáticas de México* (No. 1; Vivienda y Comunidades Sustentables). <http://www.revistavivienda.cuaad.udg.mx/index.php/rv/article/view/6/4>
- Bhattacharya, J., DeLeire, T., Haider, S., & Currie, J. (2003). Heat or eat? Cold-weather shocks and nutrition in poor American families. *American Journal of Public Health*, 93(7), 1149–1154. <https://doi.org/10.2105/AJPH.93.7.1149>
- Boemi, S. N., & Papadopoulos, A. M. (2019). Energy poverty and energy efficiency improvements: A longitudinal approach of the Hellenic households. *Energy and Buildings*, 197(2019), 242–250. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.05.027>
- Brico. (2019). *Aislamiento térmico: todo lo que necesitas saber | Brico Blog*. <https://www.bricodepot.es/blog/aislamiento-termico/>
- Bridge, B. (2017). *Individual and household-level effects of energy poverty on human development*. http://digitalrepository.unm.edu/econ_etdshttp://digitalrepository.unm.edu/econ_etds/76
- Bucio M., F. (2010). *Taller de aislamiento termico para la vivienda NMX-046-ONNCCE-2009*.
- Bynum, R. T. (2001). *Insulation Handbook*. McGrawHill. https://books.google.co.uk/books?id=vXEJ0suntCkC&pg=PA24&dq=%22R-value%22&hl=es&sa=X&ved=2ahUKewiy_-P91NLqAhVmWxUIHWYjB-QQ6AEwB3oECAgQA#v=onepage&q=%22R-value%22&f=false
- Calderón, C., & Beltrán, M. R. (2018). Effects of fabric retrofit insulation in a UK high-rise social housing building on temperature take-back. *Energy and Buildings*, 173, 470–488. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.05.046>
- Calderón, R., Arredondo, J. A., Gallegos, R., & Mayagoitia, F. (2011). Electrical consumption and CO₂ reduction using saving systems and thermal insulation applied to dwellings in arid lands of Mexico. *Informacion Tecnologica*, 22(2), 69–78. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000200008>
- Campos-Arriaga, L. (2011). *Estudio de optimización de la eficiencia energética en viviendas de interés social*.
- CANADEVI, & Lean House Consulting. (2010). *Estudio de subsidios del sector vivienda en México*.
- CEB. (2019). *Energy Poverty in Europe: How Energy Efficiency and Renewables Can Help*.
- CEPAL. (2018). *Informe Nacional de Monitoreo de la Eficiencia Energética de México, 2018*.
- CIDOC, & SIF. (2019). *Estado Actual de la vivienda en México*. www.gob.mx/shf
- CONAFOVI. (2006). *Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda*. www.conafovi.gob.mx
- CONAVI. (2010). *Metodología para estimar el rezago y la necesidad de vivienda 2010*.
- CONAVI, & SEDATU. (2019). *Libro Blanco - programa de acceso al financiamiento para soluciones habitacionales*. https://www.conavi.gob.mx/images/documentos/transparencia/rendicion_cuentas/Libro_Blanco_Pr

- ograma_Subsidios_CONAVI_2012-2018.pdf
- CONEVAL. (2018). *Estudio Diagnóstico del Derecho a la Vivienda Digna y Decorosa*. <https://www.coneval.org.mx/quienessomos/InvestigadoresAcademicos/>
- CONUEE. (2018). *Análisis del impacto de las Normas Oficiales Mexicanas en el ingreso-gasto del sector residencial de México a partir de datos de INEGI (1990-2016)* 8.
- CONUEE, & SENER. (2015). *Manual Técnico para la aplicación de la NOM-020-ENER-2011, eficiencia energética en edificaciones. envolvente en edificios de uso habitacional*.
- CONUEE, & SENER. (2017). *Hoja de Ruta en Materia de Eficiencia Energética*. www.gob.mx/conuee
- Cravioto, J., Yamasue, E., Okumura, H., & Ishihara, K. N. (2014). Energy service satisfaction in two Mexican communities: A study on demographic, household, equipment and energy related predictors. *Energy Policy*, 73, 110–126. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.04.031>
- Cuitiño, G., Esteves, A., Maldonado, G., Rotondaro, R., & Científico Tecnológico Mendoza -CONICET Mendoza, C. (2015). *Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha ; Analysis of thermal transmittance and resistance to soft shock in wattle walls*. 67, 63. <https://doi.org/10.3989/ic.12.082>
- Culver, L. C. (2017). *Pre-symposium white paper for: Reducing Energy Poverty with Natural Gas: Changing Political, Business, and Technology Paradigms The Stanford Natural Gas Initiative Energy Poverty: What You Measure Matters*. 26.
- Davis, L. W., & Gertler, P. J. (2015). Contribution of air conditioning adoption to future energy use under global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(19), 5962–5967. <https://doi.org/10.1073/pnas.1423558112>
- De Buen, O., Hernández, F., & Navarrete, J. I. (2016). *Análisis de la evolución del consumo eléctrico del sector residencial entre 1982 y 2014 e impactos de ahorro de energía por políticas públicas*. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/98316/CuadernosConueeNo1.pdf>
- De Buen, O., & Morales M., N. (2020). *Clasificación de climas y su aplicación a la norma para envolvente de viviendas: notas para discusión*.
- DOF. (2011). *NOM-020-ENER-2011*. Diario Oficial de La Federación. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5203931&fecha=09/08/2011
- DOF. (2012). *LEY GENERAL DE CAMBIO CLIMÁTICO*.
- DOF. (2020, February 7). *ACUERDO por el que la Secretaría de Energía aprueba y publica la actualización de la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, en términos de la Ley de Transición Energética*. Estrategia de Transición Para Promover El Uso de Tecnologías y Combustibles Mas Limpios. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020
- Economía, S. de. (2013). *NORMA MEXICANA NMX-AA-164-SCFI-2013 EDIFICACIÓN SUSTENTABLE-CRITERIOS Y REQUERIMIENTOS AMBIENTALES MÍNIMOS SUSTAINABLE BUILDING-CRITERIA AND MINIMAL ENVIRONMENTAL REQUIREMENTS*.
- EEPO. (2016). *What is energy poverty? | EU Energy Poverty Observatory*. European Energy Poverty Observatory. <https://www.energypoverty.eu/about/what-energy-poverty>
- Escoto Castillo, A., Sanchez Peña, L., & Perez Guardian, G. (2016, May). Hogares y energía eléctrica en México. *Revista Espinhaco*, 5(2), 30–43.
- García, R., & Graizbord, B. (2016a). Caracterización espacial de la pobreza energética en México. Un análisis a escala subnacional. *Economía, Sociedad y Territorio*, 16(51), 289–337. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212016000200289&lang=en
- García, R., & Graizbord, B. (2016b). Privation of energy services in Mexican households: An alternative measure of energy poverty. *Energy Research and Social Science*, 18, 36–49. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.04.014>
- Garg, N., Kumar, A., Pipralia, S., & Kumar, P. (2018). Sustainable Building Materials for Energy Efficiency. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3239430>
- GIZ. (2012). *NAMA de Vivienda Existente* (p. 18).
- GIZ. (2013). *NAMA Apoyada para la Vivienda Sustentable en México – Acciones de Mitigación y Paquetes Financieros*.
- GIZ, CONAVI, & SEDATU. (2016a). *NAMA apoyada para la Vivienda Existente en México Acciones de Mitigación y Paquetes Financieros*.
- GIZ, CONAVI, & SEDATU. (2016b). *NAMA vivienda existente acciones nacionales apropiadas de mitigación*.
- Guillén Guillén, C. A., Muciño Vélez, A., Santa Ana Lozada, P., & Verduzco Chirino, G. (2018). Análisis de las propiedades térmicas del Arundo Donax (carrizo) y Zea Mays (caña maíz) para su

- uso como material aislante de cubiertas. *Academia XXII*, 9(18), 90.
<https://doi.org/10.22201/fa.2007252xp.2018.18.67947>
- Hamilton, I. G., Steadman, P. J., Bruhns, H., Summerfield, A. J., & Lowe, R. (2013). Energy efficiency in the British housing stock: Energy demand and the Homes Energy Efficiency Database. *Energy Policy*, 60, 462–480. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.04.004>
- Hipoteca verde | Infonavit. (2017).
https://portalmx.infonavit.org.mx/wps/portal/infonavit.web/proveedores-externos/para-tu-gestion/desarrolladores/hipoteca-verde/!ut/p/z1/pZJbC4JAEIV_ja_OqLlYb2uYF6QLKNm-hMW2GuqGWf79xJ6CUqF5m-E7M4fDAIMEWJU-c5E2uazSousPjByJi-gtZ9raDVDH3caOtrFuBzPPhP0AYBBCgP2
- IDAE. (2008). *Eficiencia y Ahorro Energetico*. www.idae.es
- INECC. (2018). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de efecto Invernadero 1990-2017*. Estudios e Investigaciones 2019 - 2013 En Materia de Mitigación Del Cambio Climático. <https://www.gob.mx/inecc/documentos/investigaciones-2018-2013-en-materia-de-mitigacion-del-cambio-climatico>
- INEEC. (2018). *INECC reitera su compromiso ante el Acuerdo de París con rutas de mitigación al cambio climático | Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático | Gobierno | gob.mx*. Comunicado. <https://www.gob.mx/inecc/prensa/inecc-reitera-su-compromiso-ante-el-acuerdo-de-paris-con-rutas-de-mitigacion-al-cambio-climatico>
- INEGI. (2018). *Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI) 2018*. ENCEVI. <https://www.inegi.org.mx/programas/encevi/2018/default.html#Microdatos>
- INEGI, CONUEE, & SENER. (2018). *ENCEVI Presentación de Resultados*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/encevi/2018/doc/encevi2018_presentacion_resultados.pdf
- Jiménez, C. (2012). *Estudio de Mercado de Vivienda Existente*. www.semarnat.gob.mx
- Jones, R. V., Fuertes, A., & Lomas, K. J. (2015). The socio-economic, dwelling and appliance related factors affecting electricity consumption in domestic buildings. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 43, pp. 901–917). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.084>
- Kavousian, A., Rajagopal, R., & Fischer, M. (2013). Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior. *Energy*, 55, 184–194. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.086>
- Li, Jia, & Just, R. E. (2018). Modeling household energy consumption and adoption of energy efficient technology. *Energy Economics*, 72, 404–415. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.04.019>
- Li, Jianglong, Yang, L., & Long, H. (2018). Climatic impacts on energy consumption: Intensive and extensive margins. *Energy Economics*, 71, 332–343. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.03.010>
- Martin H, P., Gomez A., I., De Ramos V., E., Bermejo A., J., Subias C., C., Sanchez-Prado, A. F., Alcaina, R., Mencia B., D., Esseilens, P., Lopez C., A., Hernanz, P. M., & Melgosa R., sergio. (2016). *Guía de Ventanas Eficientes y Sistemas de Regulación y Control Solar*.
- Medrano-Gómez, L. E., & Izquierdo, A. E. (2017). Social housing retrofit: Improving energy efficiency and thermal comfort for the housing stock recovery in Mexico. *Energy Procedia*, 121, 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.006>
- Mendoza C., M. (2016). Evaluación del impacto del uso de estrategias de climatización pasiva en el consumo de energía eléctrica de dispositivos de acondicionamiento de aire en viviendas en Monterrey. In *Universidad Autónoma de Nuevo León* (Vol. 1, Issue Junio). Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Nussbaumer, P., Bazilian, M., & Modi, V. (2012). Measuring energy poverty: Focusing on what matters. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 16, Issue 1, pp. 231–243). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.150>
- OECD. (2013). *OECD Framework for Statistics on the Distribution of Household Income, Consumption and Wealth Framework for integrated analysis*.
- OPS. (2009). *Guía para el facilitador hacia una vivienda saludable Dirección Regional de Salud de ICA*.
- Palmer, J., & Cooper, I. (2013). *United Kingdom housing energy fact file 2013 UK Housing Energy Fact File*.
- Preston, I., White, V., & Blacklaws, K. (2014). Fuel and poverty. In *Joseph Rowntree Foundation Centre for Sustainable Energy*.
- Pye, S., Dobbins, A., Baffert, C., Ivana, J., De Miglio, R., & Deane, P. (2012). *Energy poverty and vulnerable consumers in the energy sector across the EU*.
- Rademaekers, Koen, Yearwood, Jessica, Ferreira, Alipio, Pye, Steve, Hamilton, Anisimova, N. (2014).

- Selecting Indicators to Measure Energy Poverty*. <http://trinomics.eu/project/selecting-indicators-to-measure-energy-poverty/>
- Rademaekers, K., Yearwood, J., Ferreira, A., Pye, S., Ian Hamilton, P., Agnolucci, D. G., Karásek, J., & Anisimova, N. (2016). *Selecting Indicators to Measure Energy Poverty*. (p. 130).
- Ramales O., M. C., Morales C., A., Coronado, M. A., Rosales R., P., Guadalupe, M., Espinosa, I., Flores C., L., & Noriega G., J. (2018). *El Infonavit: Retrovisión y Perspectivas by Floresaly - Books on Google Play*. Bubok.
https://play.google.com/store/books/details?id=7qBhDwAAQBAJ&rdid=book-7qBhDwAAQBAJ&rdot=1&source=gbs_atb&pcampaignid=books_booksearch_atb
- Renewables Academy. (2015). *Manual de capacitación para el Estándar de Competencia Laboral EC0431- "Promoción del ahorro en el desempeño integral de los sistemas energéticos de la vivienda"*.
- Sánchez-Guevara Sánchez, C., Neila González, F. J., & Hernández Aja, A. (2018). Energy poverty methodology based on minimal thermal habitability conditions for low income housing in Spain. *Energy and Buildings*, 169, 127–140. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.038>
- Santillán, O. S., Cedano, K. G., & Martínez, M. (2020). Analysis of energy poverty in 7 Latin American countries using multidimensional energy poverty index. *Energies*, 13(7).
<https://doi.org/10.3390/en13071608>
- Schwane, E. (2012). *Aislamiento termico y uso de materiales aislantes*.
- SEMARNAT. (2011). *Vivienda Sustentable en Mexico*.
- SENER. (2017). *Datos Abiertos de México - Porcentaje de la población con servicio eléctrico*.
<https://datos.gob.mx/busca/dataset/porcentaje-de-la-poblacion-con-servicio-electrico>
- SENER. (2018). *Programa de Desarrollo Eléctrico Nacional PRODESEN 2018-2032*.
<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/331770/PRODESEN-2018-2032-definitiva.pdf>
- SENER. (2019a). *BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA 2018*. www.gob.mx/sener
- SENER. (2019b). *Nueva Política Energetica en Materia de Electricidad - PRODESEN*.
- SENER. (2020, January 15). *Reporte Anual de Potencial de Mitigacion de GEI del sector electrico*.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/525872/Reporte_Anual_del_potencial_de_mitigacion_de_GEI_en_el_sector_electrico-15_01_2020_FINAL.pdf
- Tardy, F., & Lee, B. (2019). Building related energy poverty in developed countries – Past, present, and future from a Canadian perspective. *Energy and Buildings*, 194, 46–61.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.04.013>
- Thomson, H., Bouzarovski, S., & Snell, C. (2017). Rethinking the measurement of energy poverty in Europe: A critical analysis of indicators and data. *Indoor and Built Environment*, 26(7), 879–901.
<https://doi.org/10.1177/1420326X17699260>
- Tiwari, P. (2000). Architectural, Demographic, and Economic Causes of Electricity Consumption in Bombay. *Journal of Policy Modeling*, 22(1), 81–98. [https://doi.org/10.1016/s0161-8938\(98\)00003-9](https://doi.org/10.1016/s0161-8938(98)00003-9)
- UN. (2015). *Goal 7 .: Sustainable Development Knowledge Platform*. Sustainable Development Knowledge Platform. <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg7>
- UNAM. (2013). *Mexico, perfil del sector de vivienda*.
- Walker, R., McKenzie, P., Liddell, C., & Morris, C. (2014). Estimating fuel poverty at household level: An integrated approach. *Energy and Buildings*, 80, 469–479.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.004>
- Wiesmann, D., Lima Azevedo, I., Ferrão, P., & Fernández, J. E. (2011). Residential electricity consumption in Portugal: Findings from top-down and bottom-up models. *Energy Policy*, 39(5), 2772–2779. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.02.047>
- World Health Organization. (2018). *WHO Housing and health guidelines*.
<http://www.who.int/phe%0Ahttp://apps.who.int/bookorders>.
- Wyatt, P. (2013). A dwelling-level investigation into the physical and socio-economic drivers of domestic energy consumption in England. *Energy Policy*, 60, 540–549.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.037>
- Zaakirah, I., & Khembo, P. (2015). Determinants of energy poverty in south africa. *Journal of Energy in Southern Africa*, 26(3), 66–78. <https://doi.org/10.17159/2413-3051/2015/v26i3a2130>

