

De lo ideal a lo real en eficiencia energética de la vivienda tipo interés social: caso Hermosillo, Sonora, México

From the ideal to the real in energy efficiency in social housing: the case of Hermosillo, Sonora, Mexico

Recibido: junio 2022

Aceptado: junio 2023

Marco Tulio Muñoz López¹

Luisa María Gutiérrez Sánchez²

Jesús Quintana Pacheco³

Resumen

Los individuos que vivan en zonas expuestas ante los fenómenos meteorológicos, carentes de infraestructura y de servicios esenciales, sufrirán mayores afectaciones por los riesgos del cambio climático. La toma de medidas en busca de su mitigación es de carácter apremiante en la búsqueda de disminuir la afectación en las generaciones que están por venir, siendo el sector habitacional una forma asequible para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Lo anterior generaría un impacto en el mercado inmobiliario, por lo que los profesionales de la construcción, planeación urbana y valuación inmobiliaria deberán atender a la investigación respecto a las acciones de mitigación que se establece actualmente en el proceso de transición energética. En el presente trabajo se analiza el uso de energía de la vivienda de interés social con eficiencia energética para un clima cálido-seco y de la vivienda predominante en la ciudad de Hermosillo, Sonora; con el fin de conocer la diferencia en sus emisiones de GEI. El proceso consistió en: 1) Definir una metodología para determinar una línea base; 2) Determinar una línea base para la eficiencia energética en el clima analizado; 3) Seleccionar el prototipo de vivienda predominante en el sitio de estudio; 4) Estimar el uso de energía y las emisiones liberadas en

Abstract

Individuals living in areas exposed to meteorological phenomena, lacking infrastructure and essential services, will be mostly affected by the risks of climate change. The adoption of mitigation measures is urgent in the search to reduce the impact on future generations, and the housing sector is an affordable way to reduce greenhouse gas (GHG) emissions. This would have an impact on the real estate market, so construction, urban planning and real estate valuation professionals should pay attention to the research on mitigation actions currently established in the energy transition process. This paper compares the energy use between the social housing with energy efficiency for a warm-dry climate and the predominant housing in the city of Hermosillo, Sonora; in order to know the difference in their GHG emissions. The process consisted of 1) Defining a methodology to determine a baseline; 2) Determine a baseline for energy efficiency in the analyzed climate; 3) Select the predominant housing prototype in the study site; 4) Estimate the use of energy and the emissions released in both scenarios. Revealing that the predominant social housing releases a volume of emissions of about 40% higher than the housing that meets the energy efficiency parameters established in the actual codes and Mexican standards, therefore, could be a feasible way to reduce anthropogenic GHG emissions.

¹ Nacionalidad: mexicano; Adscripción: Tec de Monterrey Campus Sonora Norte; Doctorado en Humanidades de la Universidad de Sonora; E-mail: arqmarco.munoz@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9639-4926>

² Nacionalidad: mexicana; Adscripción: Departamento de Arquitectura y Diseño. Universidad de Sonora; Grado académico Doctorado; E-mail: luisa.gutierrez@unison.mx; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9509-2221>

³ Nacionalidad: mexicano; Adscripción: Departamento de Ingeniería Civil y Minas. Universidad de Sonora; Grado académico: Doctorado; E-mail: jesus.quintana@unison.mx; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1797-6213>

ambos escenarios. Revelando que el prototipo predominante libera un volumen de emisiones de alrededor de un 40% superior al de la vivienda de interés social que cumple con los parámetros de eficiencia energética establecidos en Códigos y Normas Mexicanas vigentes, por lo que, este sector podría ser una vía factible para reducir las emisiones de GEI antropogénicas.

Palabras Clave:

cambio climático; sostenibilidad; gases efecto invernadero y vivienda; línea base

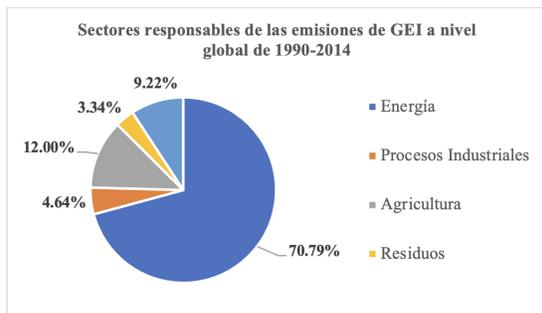
Keywords:

climate change; sustainability; greenhouse gases and housing; baseline

Introducción

La urbanización forma parte del desarrollo de las ciudades, actualmente más del 56% de la población mundial reside en zona urbana (Banco Mundial, 2020). Aun cuando las ciudades ocupan una mínima parte de la superficie terrestre —aproximadamente el 1%, éstas originan alrededor del 60% de las emisiones de Dióxido de Carbono (CO2) en el mundo, y son las responsables del consumo del 78% de la energía producida a nivel mundial (Estrada, Botzen, & Tol, 2017). La electricidad, la industria, la agricultura y la urbanización son fundamentales para el funcionamiento de una ciudad moderna, sin embargo, estas son responsables del incremento masivo de la emanación de gases de efecto invernadero (GEI) de origen antropogénico en la actualidad. De acuerdo con los registros del World Resources Institute (2017), en el período comprendido entre 1990 y 2014, el sector de energía fue responsable de aproximadamente el 70.79% de las emisiones de GEI en el mundo, los procesos industriales del 4.64%, la agricultura de un 12.00%, los residuos del 3.34% y el cambio de uso de suelo y silvicultura generó el 9.22% de estas emisiones (Ver Figura 1).

Figura 1. Sectores responsables de las emisiones de GEI a nivel global en el período de 1990 a 2014

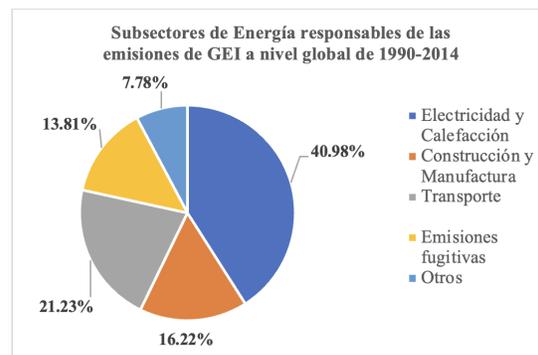


Fuente: Elaborado por Muñoz L. (World Resources Institute, 2017)

Asimismo, señala que la producción de energía es el sector que a través de los años ha sido el causante de gran parte de las emisiones de GEI

antropogénicos a nivel global, éste a su vez se encuentra compuesto por subsectores que requieren de la energía para su funcionamiento como: la generación de energía eléctrica, la industria de la construcción y la manufactura, el transporte, entre otros. A nivel global, en el período de 1990 a 2014 el subsector de energía correspondiente a la electricidad y generación de calor fue responsable del 40.98% de emisiones de GEI antropogénico, la Construcción y Manufactura del 16.22%, el Transporte del 21.23%, las emisiones fugitivas⁴ del 13.81% y el 7.78% por Otros —otras fuentes relacionadas a la energía (ver Figura 2).

Figura 2. Subsectores de Energía responsables de las emisiones de GEI a nivel global en el período de 1990 a 2014



Fuente: Elaborado por Muñoz L. (World Resources Institute, 2017)

De acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) (2014) las zonas urbanas podrán ser considerablemente afectadas por las consecuencias del cambio climático, ya que éste, provocará el aumento de los riesgos tanto para las personas, sus activos y economía, así como para los ecosistemas. El estrés térmico, las tormentas y precipitaciones extremas, las inundaciones tanto continentales como costeras, los movimientos de tierras, la contaminación del aire, las sequías, la poca disponibilidad de agua, el aumento del nivel del mar y las mareas meteorológicas son riesgos que recaerán de mayor manera en las personas

⁴ Las emisiones fugitivas procedentes de los combustibles se categorizan según sus fuentes, siendo éstas las referidas a los combustibles fósiles [esencialmente el carbón] y las redes de petróleo y gas natural. El principal GEI emitido por éstas es el metano [CH4] y algunas fuentes liberan cantidades menores de dióxido de carbono [CO2]. Las fuentes substanciales de emisiones fugitivas de las instalaciones de petróleo y gas provienen de fugas de equipos, venteo y quemazón de antorcha durante el procedimiento, además de pérdidas por evaporación [por el almacenamiento y manejo del producto] y descargas accidentales o fallas en los equipos (GCE, S.F.)

que carezcan de infraestructura, servicios esenciales y que vivan en zonas expuestas; por lo que la toma de medidas para su mitigación⁵ es de carácter urgente para buscar reducir la afectación en generaciones futuras. En el Quinto Panel Intergubernamental celebrado en 2014, el IPCC propone la reducción del uso del carbón en la producción de electricidad, la mejora de la eficiencia y del uso de energía, cambios en la dieta y disminución del desperdicio de comida; aumento del uso de energías renovables y de tecnologías bajas en emisiones; cambios en el comportamiento, el estilo de vida y la cultura; el aumento de sumideros de carbono, por medio de la forestación, la ordenación forestal sostenible y la contracción de la deforestación como estrategias para reducir las emisiones de GEI que posibiliten mantener el calentamiento global por debajo de los 2°C para cumplir con lo establecido en el Acuerdo de París⁶. El sector habitacional es señalado como una forma asequible para reducir las emisiones en el Informe de Desarrollo Humano 2007-2008 (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2007), además lo indica como una vía económica de reducir las emisiones de CO₂ que a futuro podrían no involucrar algún costo. Esto, debido a que los patrones de uso de energía en el sector habitacional influyen de manera importante en las emisiones, ya que alrededor de un tercio de la energía que se produce en los países de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) se destina a los sistemas de calefacción y aire acondicionado⁷, y al uso de electrodomésticos. En México, más del 35% del consumo eléctrico en el sector habitacional es utilizado para obtener una temperatura agradable; en localidades con clima cálido el

uso de energía duplica al uso promedio de los ubicados en clima templado, lo cual conlleva un peso del 50% del consumo (CONUEE, 2020), significando un aumento del volumen de emisiones de GEI.

Actualmente existen distintos softwares que nos permiten estimar el uso de energía en un proyecto de vivienda, tal es el caso de *EnergyPlus*, *OpenStudio*, *Sketchup Studio*, *Autodesk Insight*, entre otros; para ello, es necesario establecer parámetros relacionados a los sistemas constructivos de la envolvente, al vidriado, y al uso del espacio. En distintas partes del mundo se han desarrollado códigos denominados *línea base* para la eficiencia energética⁸ en edificaciones, donde los establecen; como los existentes en China, Australia, Bélgica, Nueva Zelanda, Países Bajos, Estados Unidos de América, entre otros. En México, no existe una *línea base* estructurada para la eficiencia energética, sin embargo, el Código de Edificación de Vivienda Tercera Edición (2017), el Código de Conservación de Energía en Edificaciones (IECC-MÉXICO, 2016), y las Normas Oficiales Mexicanas para la Eficiencia Energética vigentes, contienen algunos de los parámetros establecidos en las líneas base antes mencionadas. La ciudad de Hermosillo —con una población de 936,263 habitantes (INEGI, 2020), del estado de Sonora localizado al noroeste de la República Mexicana presenta un clima cálido-seco, por lo que el uso de energía requerido para alcanzar el bienestar térmico es mayor respecto a otras zonas del país, sobre todo en las viviendas que no hayan sido diseñadas siguiendo los criterios recomendados en los códigos y normas para la eficiencia energética.

En el presente trabajo se realiza una simulación del uso de energía requerido para alcanzar el confort térmico en un prototipo de

⁵ La *mitigación del cambio climático* se refiere a toda acción humana que busca reducir las fuentes de emisiones o incrementar los sumideros de carbono (Fundación Biodiversidad, Oficina Española de Cambio Climático, Agencia Estatal de Meteorología, Centro Nacional de Educación Ambiental, 2016).

⁶ Según ONU-Hábitat, el Acuerdo de París es el primer acuerdo vinculante mundial sobre el clima, firmado en la COP21 —Conferencia de París sobre el Clima, celebrada en diciembre del 2015 en la cual participaron 196 países. El Acuerdo establece un plan de acción a nivel mundial para limitar el calentamiento global muy por debajo de 2°C con el objetivo de evitar el cambio climático peligroso. Los gobiernos acordaron medidas para reducir las emisiones de transparencia y balance global, y de adaptación por daños y perjuicios producto del cambio climático. El Acuerdo reitera la importancia del papel de las ciudades, las regiones y las administraciones locales en la lucha contra el cambio climático. El Acuerdo entra en vigor el 4 de noviembre de 2016 (ONU HABITAT, 2021).

⁷ Se proyecta que la demanda energética de aire acondicionado residencial en el verano se incremente rápidamente a nivel mundial, de los 300 TWh demandados en el año 2000 hasta alrededor de 4,000 TWh que se demanden en el año 2050. En mayor parte este aumento puede atribuirse al aumento de los ingresos en los países de economías emergentes, pero en parte también pudiera atribuirse al cambio climático.

⁸ La Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) define *eficiencia energética* como todas aquellas acciones que conlleven a una reducción económicamente viable, de la cantidad de energía requerida para cubrir las necesidades energéticas de los servicios y bienes que demanda la sociedad, en igual o mayor medida (CONAVI, 2017, pág. 30).

vivienda de clase interés social⁹ que cuente con los sistemas constructivos y equipamiento predominantes en este tipo de vivienda en la ciudad; y otra, del mismo prototipo de vivienda que cuente con las características recomendadas para una eficiencia energética en el clima cálido-seco —la cual beneficiaría la economía del usuario, a la infraestructura pública y a las acciones de mitigación del cambio climático. Con estas simulaciones, fue posible llevar a cabo una comparativa entre su uso de energía y el volumen de emisiones de GEI correspondiente.

Para llevar a cabo esta confrontación, primeramente, se llevó a cabo una investigación en los códigos y normas mexicanas vigentes referentes a la eficiencia energética en edificaciones, con el fin de establecer una metodología que permita determinar algunos de los parámetros que conforman: i) la *línea base para la eficiencia energética* de la vivienda en un clima cálido-seco, y ii) la *línea base requerida para el análisis energético* de la vivienda predominante en la ciudad. De igual manera, se consultaron encuestas referentes a los equipos de iluminación, enfriamiento y calefacción más utilizados en las regiones de clima cálido-seco en México; y la concerniente a la investigación de las características predominantes en proyecto y construcción de vivienda de interés social de la ciudad de Hermosillo, para establecer los parámetros que le corresponden. Con esta metodología fue posible demostrar el estado actual de la eficiencia energética de la vivienda predominante en la ciudad a través de la simulación de su uso de energía, y con ello estimar su contribución a la mitigación del cambio climático.

Metodología

El objetivo del presente trabajo es llevar a cabo una comparativa de uso de energía, para lo cual primeramente —siguiendo la metodología establecida para ello en la NOM-020-ENER-2011¹⁰ (DOF, 2011), fue necesario

seleccionar una *vivienda de referencia* de tipo interés social, que para la presente investigación, será aquella que cuente con sistemas constructivos y equipamiento más utilizados en la ciudad de estudio y se denomina *Vivienda 0*, la cual se compara con una vivienda que cuente con las recomendaciones de eficiencia energética según los códigos y normas vigentes mexicanas, e integre equipos con eficiencia energética para el clima cálido seco, a la cual se le denomina *Vivienda EE*.

Para identificar las características de la *Vivienda 0*, se realizó una encuesta en el gremio de valuadores inmobiliarios de la ciudad de Hermosillo, Sonora registrados en el año 2019 ante el Instituto Catastral y Registral del Estado de Sonora (ICRESON)¹¹, con el objetivo de identificar las características predominantes en la vivienda de interés social, referentes a sistemas constructivos de muros, pisos, techos; altura interior, orientación y ubicación de la vivienda, entre otros; que han identificado a lo largo de su actividad. Y con ello seleccionar una *vivienda de referencia* —*Vivienda 0*— que acate estas características. Para establecer los parámetros relacionados a los equipos para la generación de calor, enfriamiento, ventilación y el uso del espacio, se consultó el comunicado de prensa Núm. 541/18 publicado el 7 de noviembre de 2018 referente a la Primera Encuesta Nacional de Consumo Energéticos en Viviendas Particulares ENCEVI (INEGI, 2018), para conocer los equipos más utilizados en el clima cálido-seco del país. En México, el Código para la Conservación de Energía para las edificaciones en México (IECC-MÉXICO, 2016) —CCEEDM, recopila algunos de los parámetros mínimos requeridos para lograr una eficiencia energética según las normativas nacionales e internacionales, a su vez, el Código de Edificación de Vivienda en su Tercera Edición (CONAVI, 2017) —CEV III Ed. engloba alguna de la información recopilada

⁹ El Código de Edificación de Vivienda Tercera Edición, señala que los conceptos de *vivienda económica* —aquella que cuenta con 40 m² de construcción en los que se encuentran un baño, cocina y un área de usos múltiples, *vivienda popular* —cuenta con 50 m² de construcción en los que se encuentran un baño, cocina, estancia-comedor, de 1 a 2 recámaras y un cajón de estacionamiento, y *vivienda tradicional* —cuenta con 71 m² de construcción en los que se encuentran un y medio baños, cocina, estancia-comedor, de 2 a 3 recámaras y un cajón de estacionamiento; son considerados como *vivienda de interés social* (CONAVI, 2017, pág. 61).

¹⁰ Norma Oficial Mexicana referente a la Eficiencia energética en edificaciones - Envoltente de edificios para uso habitacional publicada en el Diario Oficial de la Federación el 9 de Agosto de 2011.

¹¹ El Instituto Catastral y Registral del Estado de Sonora es una institución pública responsable de mantener actualizado el inventario estatal de suelo y garantizar la seguridad jurídica de la inmobiliaria y mercantil de la entidad.

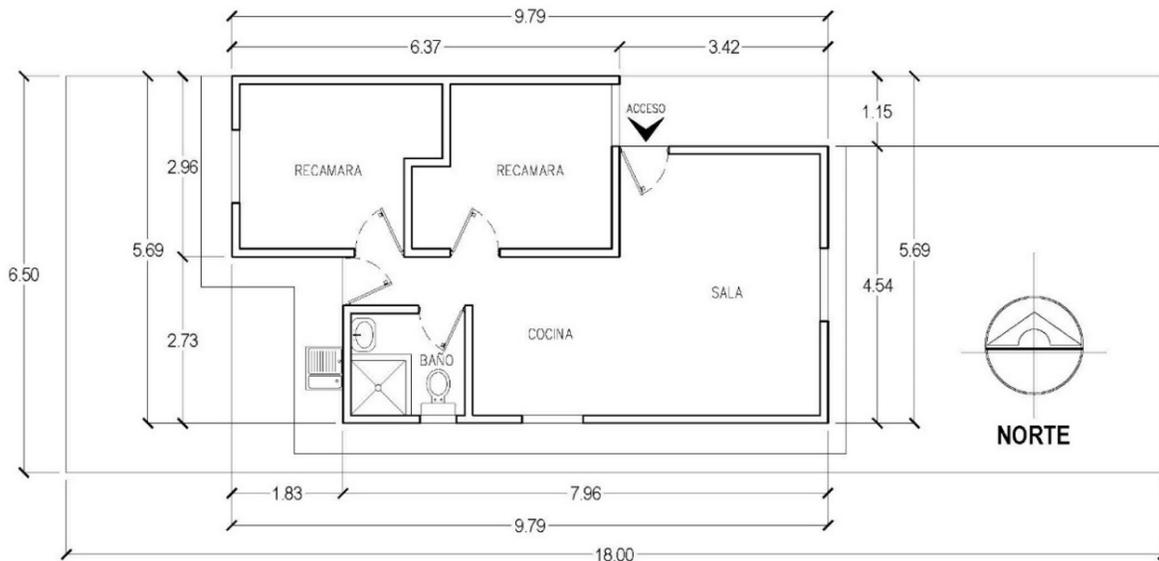
en el CCEEDM además de otros parámetros; de igual manera, las distintas normas oficiales mexicanas de eficiencia energética vigentes establecen otros requerimientos para lograr una eficiencia energética. Por lo que, para establecer los valores de los parámetros de la línea base adecuados para el diseño con eficiencia energética en el clima cálido-seco —para llevar a cabo la simulación del uso de energía de la vivienda EE, fueron analizadas las fuentes antes mencionadas.

El modelo de vivienda utilizado en el presente estudio corresponde al prototipo de vivienda del Fraccionamiento Villa Verde I Etapa (ver *Figura 3* y *Figura 4*) localizado al norponiente de la ciudad. El cual cuenta con una superficie construida de 46.76 m², y un lote tipo de 117.00 m² de superficie. Las especificaciones de la vivienda se presentan en la *Tabla 1* y corresponden a las más utilizadas en la edificación de vivienda en la ciudad, según los resultados de la encuesta aplicada al gremio de valuadores.

Para llevar a cabo las simulaciones de uso de energía¹² se utiliza el sistema *Sefaira* integrado en *Sketch Up Studio*, con el cual se obtiene el gasto energético anual requerido por cada m² de superficie de construcción de la vivienda, siendo *Energyplus* el motor de cálculo para generar los resultados (Sefaira, 2017). Con esto, es posible estimar la emisión de GEI liberado por el uso de la vivienda, al aplicar el *Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional*¹³ 2019 emitido por la Comisión Reguladora de Energía CRE (2020), el cual establece que son emitidos a la atmósfera 0.505 tCO₂e por cada MWh de energía generado.

Para realizar la simulación del gasto energético en la vivienda, es necesario seleccionar el tipo de edificio, la localización del sitio y la línea base necesaria para definir las características del diseño y uso del edificio como: las propiedades térmicas de los sistemas constructivos de la envolvente, variables del uso del espacio, y las necesidades de calefacción, ventilación y aire acondicionado HVAC.

Figura 3. Croquis del prototipo de vivienda del fraccionamiento Villa Verde I Etapa



Fuente: Elaborado por Muñoz L. Levantamiento arquitectónico

¹² Se utilizan los criterios establecidos en la NOM-020-ENER-2011 para llevar a cabo las simulaciones.

¹³ Es el factor que puede emplearse para producir los reportes para el Registro Nacional de Emisiones, el cual considera la electricidad obtenida de las centrales eléctricas que destina energía a la red eléctrica nacional, de acuerdo a la fracción XLIV del Artículo 3 de la Ley de la Industria Eléctrica (Comisión Reguladora de Energía CRE, 2020).

Tabla 1. Especificaciones de la vivienda de referencia/Vivienda 0

Elemento	Especificaciones
Muros	A base de block de concreto de 12 cm de espesor. Con recubrimiento texturizado de 5 mm en exterior e interior
Aislamiento en muros	No presenta.
Sistema constructivo en losa tapa	Vigueta y casetón.
Aislamiento en losa tapa	No presenta.
Ubicación en el lote	Cuenta con pasillo de servicio.
Configuración	Compacta con patio.
Orientación de la fachada principal	Norte, sur, poniente y oriente.
Altura libre de piso a techo	2.47 metros.
Ventanas/Acrilamiento	Sencillo de 3 mm de espesor
Árboles en fachada principal	No presenta.
Árboles en el lote	No presenta

Fuente: Elaborado por Muñoz L. Resultados de encuesta.

Figura 4. Fachada de la vivienda de referencia



Fuente: Levantamiento fotográfico de Muñoz L.

Metodología para determinar los parámetros de la línea base a utilizar para el sitio de estudio

Para iniciar con la metodología se deberán conocer las propiedades del sistema constructivo de muros, pisos y techos que conforman la envolvente de la vivienda; las características del uso del espacio, como la superficie por ocupante, el tipo de iluminación y los hábitos de los ocupantes en el uso de electrodomésticos; así como las necesidades de calefacción, ventilación y de aire acondicionado (HVAC), son determinantes en el consumo energético de la vivienda. Si bien, existen estándares en diferentes partes del mundo que estiman estos parámetros, es necesario establecer una metodología para el cálculo de estos, y así, adecuar un estándar al contexto de vivienda en México, con lo cual

es posible establecer la línea base a aplicar. A continuación, se presenta una propuesta para determinar los parámetros que conforman la *línea base* requerida para simular el uso de energía en la vivienda.

Parámetros del uso del espacio

La *densidad de potencia eléctrica para alumbrado* (DPEA) —expresada en W/m², está definida como la relación entre la carga conectada para alumbrado y la superficie de construcción, y se obtiene a partir de la carga total de alumbrado expresada en watts y el área total alumbrar expresada en m², de acuerdo con la siguiente fórmula:

Figura 5. Fórmula para calcular el DPEA de la NOM-007-ENER-2014

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada para alumbrado}}{\text{Área total iluminada}}$$

Fuente: (DOF, 2014)

La carga total conectada para alumbrado corresponde a la suma de la potencia en watts, de las lámparas y sistemas de iluminación permanentemente instalados dentro de un edificio para la iluminación general de cualquier tipo incluyendo la potencia del balastro (DOF, 2014)¹⁴.

El CEV III Ed. (CONAVI, 2017, pág. 383) establece que las lámparas para la iluminación tanto en exterior como en interior de la vivienda deben cumplir con la normativa para la eficiencia energética

¹⁴ Ver los DPEA y niveles de iluminación para los espacios de una vivienda establecidos por el CEV Tercera Edición (CONAVI, 2017), los cuales están dirigidos a alcanzar una eficiencia energética.

establecida por la NOM-017-ENER/SCFI-2012 (DOF, 2013) y NOM-028-ENER-2010¹⁵, las cuales señalan la eficacia luminosa mínima que deben ofrecer las lámparas fluorescentes y de uso general respectivamente; y la NOM-030-ENER-2016 (DOF, 2017) que establece la eficacia luminosa mínima que deben ofrecer las lámparas de diodos emisores de luz (LED).

Las eficacias luminosas mínimas establecidas en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) para las lámparas incandescentes, fluorescentes y LED se presentan en la *Tabla 2*.

En las NOM en Eficiencia Energética Vigentes, no se contempla el concepto de *Densidad de Potencia Eléctrica de Contactos DPEC*. La carga por contactos es la energía utilizada por equipos que usualmente se conectan a los tomacorrientes. Estas cargas no están relacionadas a la iluminación general del inmueble, calefacción, ventilación, enfriamiento o calentamiento de agua; y generalmente son cargas no relacionadas al confort de sus habitantes (GSA, U.S General Service Administration, 2019) Por lo tanto, el DPEC —expresado en W/m², podría definirse como el índice de la carga conectada a los tomacorrientes por superficie de construcción. y se obtiene a partir de la carga total conectada a tomacorrientes expresada en watts y el área total del edificio expresada en m².

Los consumos máximos de los electrodomésticos básicos son requeridos para obtener un DPEC enfocado a la eficiencia energética, estos valores no se encuentran establecidos en las fuentes consultadas, a diferencia de los límites establecido para la iluminación. El CEV III Ed, (CONAVI, 2017, pág. 383) señala que los electrodomésticos deben cumplir con lo estipulado en las NOM, siendo la *NOM-015-ENER-2018, Eficiencia energética de*

refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, métodos de prueba y etiquetado (DOF, 2018), la *NOM-032-ENER-2013, Límites máximos de potencia eléctrica para equipos y aparatos que demandan energía en espera. Métodos de prueba y etiquetado* (DOF, 2014), y la *NOM-005-ENER-2016, Eficiencia energética de lavadoras de ropa electrodomésticas. Límites, métodos de prueba y etiquetado* (DOF, 2016) las que establecen los límites de consumo energético máximo de refrigeradores, aparatos y equipos en espera; y lavadoras, respectivamente. Las NOM en eficiencia energética vigentes no especifican un método para el cálculo del DPEC, por lo cual, se toma de referencia para su cálculo, la fórmula utilizada por la *Commercial Energy Services Network COMNET* (2015) (ver *Figura 6*).

Figura 6. Fórmula para obtener el DPEC

$$DPEC = \frac{\text{Carga total conectada en tomacorriente}}{\text{Área total del edificio}}$$

Fuente: (COMNET, 2015)

Siendo la carga total conectada en tomacorrientes la resultante de la suma del consumo energético de los electrodomésticos en la vivienda, el cual depende del comportamiento de sus ocupantes ya que son ellos los que determinan el horario de uso de los equipos y aparatos (Burgett & Chini, 2016). Por lo anterior, en esta investigación se consideran únicamente las cargas con un tiempo de uso determinado y que no dependen del comportamiento de los ocupantes para determinar su consumo, siendo

Tabla 2. Eficacia luminosa mínima de lámparas incandescentes, fluorescentes y LED

Tipo de lámpara	Flujo Luminoso Total nominal (lm)	Eficacia luminosa mínima (lm/W)
Incandescentes	Lm ≥ 562	60.00 ¹⁶
Fluorescentes compactas auto balastrados sin envolvente LFCA	336 < lm ≤ 480	48.00
LED	150 < lm ≤ 300	55.00

Fuente: Elaborado por Muñoz L. (DOF, 2013, pág. 5), (DOF, 2018) y (DOF, 2017)

¹⁵ El 9 de marzo de 2018 el Diario Oficial de la Federación publica la NORMA Oficial Mexicana NOM-028-ENER-2017, Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba (DOF, 2018). Con información actualizada.

¹⁶ La NOM-028-ENER-2017 establece que, a partir del primero de enero de 2019, todas las lámparas incandescentes e incandescentes con halógenos tanto de espectro general como modificado deben cumplir con esta eficiencia mínima (DOF, 2018, pág. 6)

el refrigerador el electrodoméstico que tiene un tiempo de funcionamiento establecido y su consumo energético máximo se encuentra dentro de una NOM en Eficiencia Energética Vigente.

Con respecto al *punto fijo de calefacción y enfriamiento*, el CEV III Ed. (CONAVI, 2017, pág. 387) indica que dentro de una edificación habitacional debe de mantenerse una temperatura entre 18°C y 25°C, para lo cual deben contribuir tanto el diseño de la vivienda así como los sistemas a incluirse en la misma. Por lo que, el punto fijo de calefacción y enfriamiento corresponde al rango inferior y superior de temperatura establecido.

Para el cálculo la *densidad de ocupación* en la vivienda —expresada en persona/m², se utiliza el inverso del criterio para el cálculo de la densidad de población establecido en el CEV III Ed., el cual establece que el indicador de la densidad de población se deduce dividiendo la población del conjunto entre la superficie del terreno en hectáreas (CONAVI, 2017, pág. 69). Por lo tanto, para obtener la *densidad de ocupación en la vivienda* —en No. De habitantes/m², se aplica la siguiente fórmula:

Figura 7. Fórmula para obtener la Densidad de ocupación

$$\text{Densidad de ocupación} = \frac{\text{Área total del edificio}}{\text{Número de ocupantes}}$$

Fuente: Elaborado por Muñoz L.
Basado en (CONAVI, 2017, pág. 69)

Se contempla en *Número de ocupantes* el número de personas que en promedio habitan una vivienda en México. Según el censo llevado a cabo por INEGI en 2015, se estima un promedio de 3.7 personas por vivienda (INEGI, s.f.), por lo tanto, el *Número de ocupantes* a utilizar en la fórmula es de 4 personas.

Parámetros de la envolvente¹⁷

El Valor “U” es el *coeficiente global de transferencia de calor* (Thermal Engineering, 2019). La NOM-ENER-2011 (DOF, 2011) define

al *coeficiente global de transferencia de calor K* como la cantidad de calor que permite pasar el sistema constructivo por metro cuadrado, y es expresado en W/m²k según la NOM-008-SCFI-2002 (DOF, 2002). El CEV III Ed. indica que el inverso del *coeficiente K* es el valor R —expresado en m²K/W, el cual, es la suma de las resistencias superficiales interna y externa, de las resistencias térmicas de las capas que componen los diversos materiales que constituyen el elemento de la envolvente (CONAVI, 2017, pág. 50). Por lo antes expuesto, el *Valor “U”* en el presente trabajo es sinónimo del *Coeficiente Global de Transferencia de Calor K*, ambos expresados en unidades W/m²K.

Para calcular el *coeficiente K*, la NOM-020-ENER-2011 establece la siguiente fórmula:

Figura 8. Fórmula para obtener el coeficiente K

$$K = \frac{1}{M}$$

Fuente: (DOF, 2011)

Donde:

K - Es el coeficiente global de transferencia de calor de una porción de la envolvente de la vivienda, de cara a cara, expresada en W/m²k

M - Es el aislamiento térmico total de una sección de la envolvente de la vivienda, de cara a cara, expresada en m²k/W

Para calcular el aislamiento térmico total de una porción de la envolvente de la vivienda formado con capas térmicamente homogéneas y perpendiculares al flujo del calor, se aplica la siguiente fórmula:

Figura 9. Fórmula para obtener el aislamiento térmico total de las pociones de la envolvente formadas por capas homogéneas

$$M = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{l}{\lambda_1} + \frac{l}{\lambda_2} + \frac{l}{\lambda_2} + \dots + \frac{l}{\lambda_n}$$

Fuente: (DOF, 2011)

¹⁷ La envolvente de un edificio para uso habitacional —en este caso de una vivienda, hace referencia al techo, muros, vanos, puertas, piso y superficies inferiores que componen el espacio interior de un edificio (DOF, 2011).

Donde:

M - Es el aislamiento térmico total de una sección de la envolvente de la vivienda, de cara a cara, expresado en m²k/W.

hi - Es la conductancia superficial interior expresada en W/m²K. Su valor es 8.1 para superficies verticales, 9.4 para superficies horizontales con flujo de calor hacia arriba [del piso hacia el aire interior o del aire interior hacia el techo], y 6.6 para superficies horizontales con flujo de calor hacia abajo [del techo al aire interior o del aire interior hacia el piso].

he - Es la conductividad superficial exterior, y es igual a 13 W/m²K.

n - Es el número de capas que forman la sección de la envolvente de la vivienda.

l - Es el espesor de cada uno de los materiales que componen la sección de la envolvente de la vivienda, expresado en m.

λ - Es el coeficiente de conductividad térmica de cada uno de los materiales que componen la sección de la envolvente de la vivienda, expresada en W/mK.

Para el caso en que existan capas térmicamente homogéneas y térmicamente no homogéneas, la NOM-020-ENER-2011 señala la siguiente fórmula para el cálculo del aislamiento térmico total de las porciones de la envolvente:

Figura 10. Fórmula para obtener el aislamiento térmico total de las porciones de la envolvente formadas por capas homogéneas

$$M = \frac{1}{\frac{F_1}{M_{\text{parcial}} + g/\lambda_1} + \frac{F_2}{M_{\text{parcial}} + g/\lambda_2} + \frac{F_m}{M_{\text{parcial}} + g/\lambda_m}}$$

$$M_{\text{parcial}} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{l}{\lambda_1} + \frac{l}{\lambda_2} + \dots + \frac{l}{\lambda_n}}$$

Fuente: (DOF, 2011)

Donde:

M_{parcial} - Es el aislamiento térmico parcial de una sección de la envolvente de la vivienda, de cara a cara, expresada en m²k/W. Es decir, es la suma

de todos los aislamientos térmicos de todas las capas y aislamientos superficiales que componen la parte de la envolvente de la vivienda, excepto los de la capa no homogénea.

m - Es el número de materiales que forman la capa no homogénea.

F - Es la fracción del área total de la porción de la envolvente de la vivienda, ocupada por cada material en la capa no homogénea.

g - Es el espesor de la capa no homogénea.

Con el fin de fomentar un confort en los residentes y propiciar un ahorro de energía, el CEV III Ed. (CONAVI, 2017, pág. 569) señala que la vivienda debería contar con un sistema de aislamiento de acuerdo con la zona bioclimática en que se encuentre. Para la zona bioclimática Muy Seco, Seco y Semiseco a la cual pertenece el sitio de estudio, se recomienda el aislamiento en los elementos constructivos mostrado en la *Tabla 3*.

La NOM-020-ENER-2011 señala que en el cálculo de la ganancia de calor en una envolvente de un edificio habitacional —tanto en el de referencia como en el proyectado, no se toma en cuenta la ganancia de calor a través del piso, ya que se supone se encuentra sobre el suelo (DOF, 2011).

La NOM-024-ENER-2002 señala que el coeficiente global de transferencia de calor K también es conocido como Valor “U”, y se define como la densidad de transferencia de calor por unidad de superficie y por unidad de diferencia de temperatura entre los ambientes a cada lado del sistema vidriado (DOF, 2012). El *coeficiente de ganancia de calor solar CGCS/SHGC* es la proporción de la ganancia de calor que entra a través de un sistema vidriado por la radiación solar incidente, incluyendo su ganancia de calor solar transmitida directamente y la que se transfiere al interior (CONAVI, 2017, pág. 26). La norma establece la metodología para la verificación de las características térmicas y ópticas del acristalamiento, más no establece los valores mínimos que deben cumplirse para alcanzar una eficiencia energética. El CEV III Ed. (CONAVI, 2017, pág. 569) sí establece recomendaciones

Tabla 3. Sistema de aislamiento en elementos de vivienda ubicada en Zona Bioclimática Muy Seco, Seco y Semiseco

Elemento	Valor U (Btu/h*ft ² °F)	Valor U (W/m ² °K)
Techo	0.048	0.273
Paredes	0.124	0.704
Piso	0.322	1.828

Fuente: Elaborado por Muñoz L. (CONAVI, 2017, pág. 569)

de valores térmicos mínimos para alcanzar un desempeño óptimo según cada zona, siendo los valores de “U” y de SHGC —también se indica el valor del coeficiente de sombreado CS¹⁸, para una zona bioclimática Muy Seco, Seco y Semi Seco en la *Tabla 4*.

La infiltración es la entrada de aire no controlada a una edificación, ocasionada por los efectos de la presión del viento o por el efecto de las diferencias de densidad del aire interior y exterior, o por los efectos de ambas (IECC-MÉXICO, 2016, pág. 67). El CCEEDM señala que la edificación o unidad de vivienda deberá ser probada y verificada para cumplir un coeficiente de fuga de aire que no exceda de 5 cambios de aire por hora en pruebas a presión de 50 Pa, en las zonas climáticas 2 de la clasificación Grados Día (IECC-MÉXICO, 2016, pág. 86), a la cual pertenece Hermosillo.

Como se menciona anteriormente *Sefaira* utiliza el motor de cálculo *Energyplus*, el cual

precisa utilizar el método de medida de infiltración *Crack Flow* (ver *Tabla 5*), en los casos en que se desee contemplar la ventilación natural —a través de las ventanas, en el cálculo del análisis energético de un inmueble sin sistemas de HVAC, o bien, si se quiere mezclar la ventilación natural con el sistema HVAC, en la simulación del uso de energía (Sefaira, 2020).

Parámetros de HVAC

La *eficiencia de calefacción* puede ser medida con el índice de eficiencia eléctrica de calefacción COP, el cual se define como la tasa de remoción del calor con respecto a la tasa de ingreso de energía eléctrica en unidades consistentes, para un sistema completo de bomba de calor incluyendo el compresor (IECC-MÉXICO, 2016, pág. 7). El CCEEDM establece los siguientes requisitos mínimos de eficiencia en bombas de calor unitarias operadas eléctricamente en la *Tabla 6*.

Tabla 4. Valores térmicos recomendados en acristalamiento en zona bioclimática Muy Seco, Seco y Semiseco

Valor “U” (Btu/h*ft ² °F)	Valor “U” (W/m ² °K)	CGCS/SHGC	CS
1.20	6.81	0.25	0.28

Fuente: Elaborado por Muñoz L. (CONAVI, 2017, pág. 569).

Tabla 5. Valores de infiltración de aire

Método de medida de Infiltración	Descripción	Valor base
Crack Flow	Se basa en el caudal de aire por unidad de longitud del perímetro del acristalamiento, a aproximadamente 50 Pa.	2.00 L/s.m

Fuente: Elaborado por Muñoz L. (Sefaira, 2020) y *Sefaira Web-App for Sketchup*

Tabla 6. Requisitos mínimos de eficiencia energética en bombas de calor

Tipo de equipo	Tamaño de equipo kW (BTU/h)	Clasificación del sistema	Eficiencia Mínima (HSPF ¹⁴ /COP)
Enfriado por aire (modo de calentamiento)	<19.05 (65,000)	Dividido y paquete	7.7 HSPF/2.26 COP

Fuente: Elaborado por Muñoz L. (IECC-MÉXICO, 2016, pág. 50).

¹⁸ El coeficiente de sombreado CS es la razón entre la energía solar que se gana a través de un vidrio específico, a la energía solar que se gana a través de un vidrio claro de 3 mm de espesor, bajo las mismas condiciones (DOF, 2012, pág. 83)

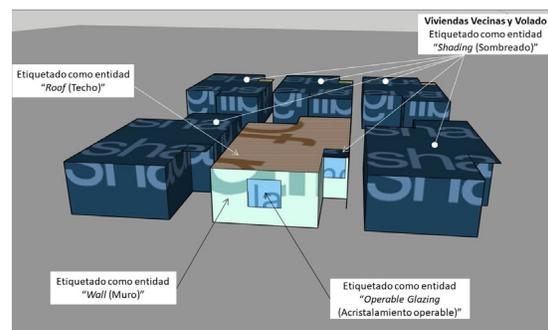
La *eficiencia de enfriamiento* es medida por la relación de eficiencia energética estacional REEE, la cual se define como la relación del calor total eliminado del espacio acondicionado durante la temporada anual de enfriamiento, dividido por el total de energía eléctrica consumida por el acondicionador de aire durante la misma temporada (DOF, 2016, pág. 4). La NOM-011-ENER-2006 (DOF, 2007) establece los valores mínimos de eficiencia energética en acondicionadores tipo central; la NOM-021-ENER/SCFI-2017 (DOF, 2017) establece los valores mínimos vigentes para acondicionadores tipo cuarto/ventana; la NOM-023-ENER-2018 (DOF, 2018) establece los valores REEE vigentes en acondicionadores de tipo dividido/*minisplit*, y la NOM-026-ENER-2015 (DOF, 2018) establece los mínimos para acondicionadores de tipo dividido/*minisplit inverter* (DOF, 2016, pág. 5). Ver *Tabla 7*¹⁹.

El CEV III Ed. señala que no es necesario abrir las ventanas para ventilar el espacio de la vivienda cuando se cuente con un sistema de ventilación mecánico aprobado capaz de producir 0.35 cambios de aire por hora, o bien, se haya instalado un sistema de ventilación mecánico para toda la vivienda que proporcione aire de ventilación exterior de 0.40 m³ por minuto [6.7 l/s] por ocupante (CONAVI, 2017, pág. 101).

Como es posible observar a lo largo del presente estudio, para establecer algunos de los parámetros que conforman la línea base para el cálculo del uso de energía en la *Vivienda 0* y la *Vivienda EE*, se requiere la superficie de construcción del prototipo de vivienda para obtener los parámetros que la ocupan.

Para la simulación se consideró el prototipo de vivienda con ubicación medianera en la manzana, rodeado de viviendas similares (ver *Figura 11*) —señaladas como elementos de sombreado²⁰. Se consideran todas las ventanas operables con un área libre del 50%, y se contempla funcionen en conjunto a los sistemas de HVAC para la ventilación en el análisis energético. No se consideran los vanos ni las puertas en la simulación, estas son reemplazadas por muros —lo cual es una práctica común en simulaciones de uso de energía. Se considera edificado sobre suelo y con una orientación de fachada hacia el oriente en el análisis de la *Vivienda 0*, y orientación norte en el caso de la *Vivienda EE*. Se indica un funcionamiento del sistema de enfriamiento —en conjunto con la ventilación natural, de 12 am a 12 pm los siete días de la semana, así como una ocupación del espacio los siete días de la semana.

Figura 11. Etiquetado de entidades en Sefaira para llevar a cabo la simulación de uso de energía



Fuente: Elaborado por Muñoz L. Fuente: Sefaira Web App para Sketchup

Tabla 7. Requisitos mínimos de eficiencia energética en acondicionadores de aire y unidades condensadoras operadas eléctricamente

Tipo de equipo	Tamaño kW (BTU/h)	Eficiencia Mínima REEE
Central	De 8,800 a 19.050 (65,000)	3.81
Cajón/Ventana (sólo frío)	Mayor a 8,205	2.64
Minisplit	≤19,050 (65,000.50)	3.28
Minisplit inverter	≤19,050 (65,000.50)	4.10

Fuente: Elaborado por Muñoz L. (DOF, 2007), (DOF, 2017), (DOF, 2018), (DOF, 2016, pág. 5)

¹⁹ Los valores refieren a la capacidad máxima de cada equipo, a los cuales corresponde el valor REEE mínimo indicado.

²⁰ Sefaira toma en cuenta los edificios y objetos circundantes en los análisis de desempeño energético e iluminación del edificio. Para lo cual indica que estos objetos deben de etiquetarse como *Shading*.

Los espacios interiores del prototipo de vivienda considerados para el cálculo del DPEA son: sala, comedor, cocina, dos recámaras y un baño —el pasillo de circulación no se considera ya que este no cuenta con iluminación. Los cuales en conjunto requieren un nivel mínimo de iluminación de 1,275 lux con una DPEA máxima de 73.65 W/m² —

Resultados

Considerando la eficiencia máxima que ofrecen las lámparas contempladas en las normas —60 lm/W correspondiente a las lámparas incandescentes²¹, se obtiene una DPEA de 21.25 W/m² para obtener una eficiencia energética en la vivienda.

La NOM-015-ENER-2018 (DOF, 2018) limita el consumo energético de un refrigerador-congelador con deshielo automático con el

congelador montado en la parte superior, sin máquina de hielo automática; a un máximo de 233.70 kWh/año —la norma considera en sus pruebas, ciclos de 24 horas. Los cuales equivalen a un consumo de 26.68 watts, por lo que la DPEC es de 0.57 W/m².

En lo que respecta a la densidad de ocupación de la vivienda —teniendo en cuenta el promedio de 4 habitantes, se obtiene una densidad de 11.75 m²/persona. Por lo tanto, con el cálculo de los últimos parámetros en base a la superficie de construcción de la vivienda, y lo establecido en el CEV III Ed., el CCEEDM y las diferentes NOM en eficiencia energética vigentes es posible establecer una línea base para la eficiencia energética en una vivienda de 46.76 m² edificada en un clima muy seco, seco y semiseco correspondiente al de la ciudad de Hermosillo, Sonora. La cual se presenta en la *tabla 8*.

Tabla 8. Línea base para vivienda de 46.76 m² con eficiencia energética en clima muy seco, seco y semiseco; la cual en el presente trabajo se denomina Vivienda EE

Parámetros	Unidad	Valores
Del uso del espacio		
1) Densidad de potencia eléctrica para alumbrado	W/m ²	21.25
2) Densidad de potencia eléctrica de contactos	W/m ²	0.57
3) Punto fijo de la calefacción	°C	18
4) Punto fijo del enfriamiento	°C	25
5) Densidad de ocupación		1 persona/11.75 m ²
De la envolvente		
6) Valor “U” del Techo	W/m ² .K	0.273
7) Valor “U” de Muro	W/m ² .K	0.704
8) Valor “U” de Piso	W/m ² .K	0
9) Valor “U” de Acristalamiento	W/m ² .K	6.81
10) SHGC del Acristalamiento	-	0.28
11) Tasa de infiltración	L/s.m	2.00
HVAC		
12) Eficiencia de calefacción	-	2.26 COP
13) Eficiencia de enfriamiento	-	4.10 ¹³²
14) Tasa de ventilación	l/s por ocupante	6.7

Fuente: Elaborado por Muñoz L.

²¹ Valor establecido como mínimo a partir del año 2019.

Al llevar a cabo la simulación del uso de energía de la *Vivienda EE* utilizando los parámetros establecidos en la *Tabla 8*, resulta un uso de energía de 113.49 kwh/m²/año que corresponde a una emisión de 57.31 kg/m²/año de gases CO₂e (ver *Figura 12*).

Para definir la línea base a aplicar en la simulación de uso de energía de la *Vivienda 0*, se analizan las propiedades de los sistemas constructivos predominantes en la ciudad enlistados en la *Tabla 1*, y de los elementos de iluminación y de sistema de enfriamiento más utilizados en la zona cálido-seca del país, según lo que el Instituto Nacional de Estadística y Geografía da a conocer en la Primera Encuesta Nacional de Consumo Energéticos en Viviendas Particulares ENCEVI (INEGI, 2018).

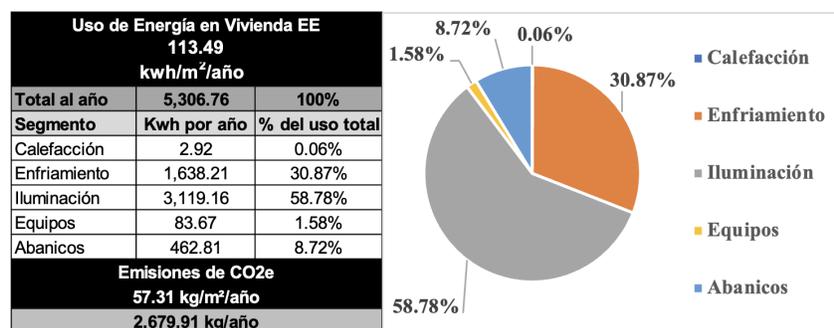
La ENCEVI 2018 (INEGI, 2018) señala que de los 226.40 millones de focos utilizados en las viviendas particulares habitadas en el país, el 84.00% son focos eficientes de tipo fluorescentes o LED. En zonas urbanas el 73.00% [138.40 millones] de focos son de tipo fluorescente, en localidades menores a 15 mil habitantes [rurales] es el 66.00% [23.70 millones]. En la región cálida extrema el 71.00% [41.20 millones] de focos en viviendas son de tipo fluorescente, el 17.00% [9.50 millones] son incandescentes, y sólo el

12.00% [6.90 millones] son de tipo LED. Por lo anterior, se considera la eficacia luminosa de 48.00 lm/W correspondiente al foco fluorescente, para calcular el DPEA a utilizar en la línea base para la *Vivienda 0*, resultando en una densidad de 26.56 W/m².

En México se contabilizan poco más de 7 millones de equipos de aire acondicionado en uso en viviendas particulares, concentrándose el 48.10% [5.60 millones] en la región cálida extrema. Se contemplan cuatro tipos de aires acondicionados en el uso habitacional: de ventana, central, minisplit y minisplit inverter. El minisplit es el equipo de enfriamiento más utilizado y se encuentra presente en el 40.00% [2.82 millones] de las viviendas (INEGI, 2018). Por lo anterior, se determina utilizar la eficiencia de enfriamiento de 3.28 que corresponde al equipo tipo minisplit, el cual se considera tanto para enfriamiento como para calefacción.

Para el cálculo del valor K/“U” de los muros de la *Vivienda 0*, se toman en cuenta los coeficientes de conductividad térmica de los elementos que conforman el sistema constructivo de muros utilizados en la vivienda (ver *Tabla 9*). Posteriormente, se aplica la fórmula para su cálculo, obteniendo un coeficiente global de transferencia de calor de 2.53 W/m²k.

Figura 12. Uso de energía anual y emisiones de CO₂e de la Vivienda EE



Fuente: Elaborado por Muñoz L.

Resultados de simulación de uso de energía en Sefaira Web App para Sketchup

Tabla 9. Conductividad térmica y aislamiento térmico de los materiales del sistema constructivo de muros de la Vivienda 0

Fuente: Elaborado por Muñoz L.

No.	CAPA HOMOGÉNEA Material	Espesor "t" (m)	Conductividad λ (W/mk)	Valor M (m ² .k/W)	Fuente
1	Exterior Pasta texturizada al exterior	0.005	0.3189	-	(CEMEX, s.f.)
2	Block hueco de concreto	0.120	-	0.163	(Perez, 2011, pág. 34)
3	Pasta texturizada al interior Interior	0.005	0.3189	-	(CEMEX, s.f.)

Para calcular el valor K/U del techo de la *Vivienda 0*, se toman en cuenta los coeficientes de conductividad térmica de los elementos que conforman la capa homogénea (ver *Tabla 10*) y la capa no homogénea (ver *Tabla 11*) del sistema constructivo de losa tapa/techo. Posteriormente, se aplica la fórmula establecida en la presente investigación para su cálculo, obteniendo un coeficiente global de transferencia de calor de $0.70 \text{ W/m}^2\text{k}$.

El acristalamiento utilizado en la *Vivienda 0* es de 3 mm color claro, el cual tiene un valor “U” de $5.91 \text{ W/m}^2\text{k}$ y su coeficiente de ganancia de calor solar SHGC es de 0.86 — valores especificados por el fabricante Vitro (2020).

Con lo anterior es posible establecer la línea base a utilizar el análisis energético de la *Vivienda 0*, la cual se presenta en la *Tabla 12*.

Tabla 10. Conductividad térmica y aislamiento térmico de los materiales de la capa homogénea del sistema constructivo de losa tapa de la Vivienda 0

Fuente: Elaborado por Muñoz L.

CAPAS HOMOGÉNEAS				
No.	Material	Espesor “l” (m)	Conductividad λ (W/mk)	Fuente
Exterior				
1	Impermeabilizante acrílico	0.003	0.15	(CIDS, 2020, pág. 47)
2	Concreto armado	0.05	1.74	(CIDS, 2020, pág. 45)
3	Yeso	0.01	0.372	(CIDS, 2020, pág. 46)
Interior				

Tabla 11. Conductividad térmica y aislamiento térmico de los materiales de las fracciones no homogénea del sistema constructivo de losa tapa de la Vivienda 0

Fuente: Elaborado por Muñoz L.

FRACCIONES NO HOMOGÉNEAS				
Fracción	Material	Grueso “g” (m)	Conductividad λ (W/mk)	Fuente
F1 0.84	Bovedilla EPS certificada de 12.82 kg/m2	0.11	0.03764	(FANOSA, s.f.)
F2 0.16	Vigueta de concreto armado	0.11	1.74	(CIDS, 2020, pág. 45)

Tabla 12. Línea base para el cálculo del gasto energética de la Vivienda 0 o de referencia

Parámetros	Unidad	Valores
Del uso del espacio		
Densidad de potencia eléctrica para alumbrado	W/m2	26.56
Densidad de potencia eléctrica de contactos	W/m2	0.57
Punto fijo de la calefacción	°C	18
Punto fijo del enfriamiento	°C	25
Densidad de ocupación		1 persona/11.75 m2
De la envolvente		
Valor “U” del Techo	W/m2.K	0.70
Valor “U” de Muro	W/m2.K	2.53
Valor “U” de Piso	W/m2.K	0.1
Valor “U” de Acristalamiento	W/m2.K	5.91
SHGC del Acristalamiento	-	0.86
Tasa de infiltración	L/s.m	2.00
HVAC		
Eficiencia de calefacción	-	2.26 COP
Eficiencia de enfriamiento	-	3.28
Tasa de ventilación	l/s por ocupante	6.7

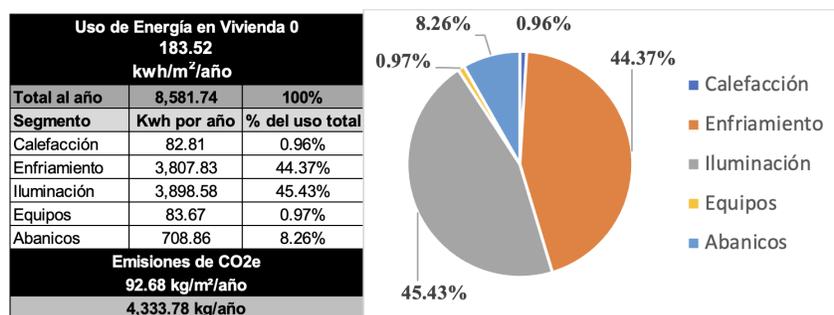
Fuente: Elaborado por Muñoz L.

Aplicando estos parámetros, la simulación arroja un uso de energía de 183.52 kwh/m²/año que corresponde a un volumen de emisiones de CO₂e de 92.68 kg/m²/año en la Vivienda 0 (ver Figura 13).

Según las simulaciones de uso de energía — UE, la Vivienda EE tiene un uso de energía al año de 5,306.76 kwh/año y la Vivienda 0 requiere 8,581.74 kwh/año (ver Figura 14) —sufriendo un aumento considerable en los segmentos de calefacción [2,835.96%], enfriamiento [232.44%], y en el uso de abanicos [153.16%]; por lo que es factible indicar que la Vivienda EE es 38.16% más eficiente energéticamente que la Vivienda 0, presentando un ahorro de 3,274.98 kwh/año en el uso de energía.

Como resultado de la eficiencia energética en la Vivienda EE, sus emisiones se reducen de 4,333.78 kg/año emitidas por la Vivienda 0 a 2,679.91 kg/año, equivalente a un 38.16% [1,653.86 kg] (ver Figura 15). Resultando en una hipotética reducción de las emisiones de GEI de 1,710.10 toneladas al año entre una primera etapa del fraccionamiento Villa Verde desarrollada con las especificaciones de la Vivienda EE, y el desarrollado con las especificaciones de la Vivienda 0 —edificación existente. Lo cual representa un nicho de oportunidad para reducir las emisiones de GEI a nivel local, estatal o federal, pudiendo apoyar la meta de alcanzar el cumplimiento del compromiso establecido por México en el Acuerdo de París.

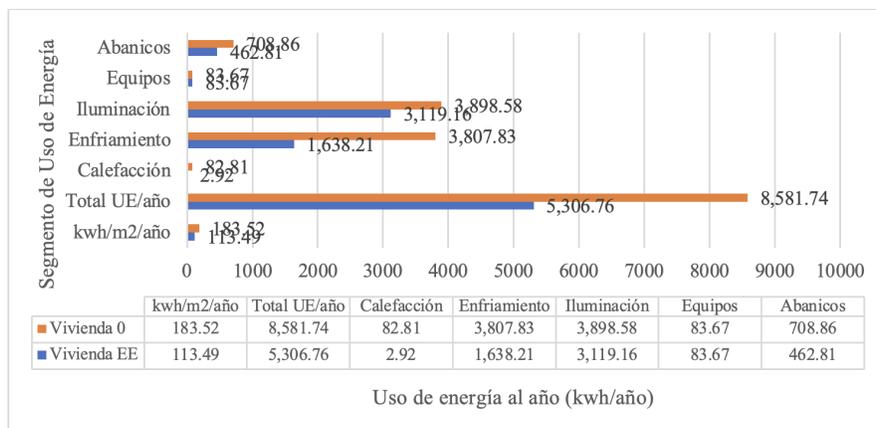
Figura 13. Uso de energía anual y emisiones de CO₂e de la Vivienda 0 según simulación, utilizando Línea base para el cálculo del gasto energético de la vivienda de referencia



Fuente: Elaborado por Muñoz L.

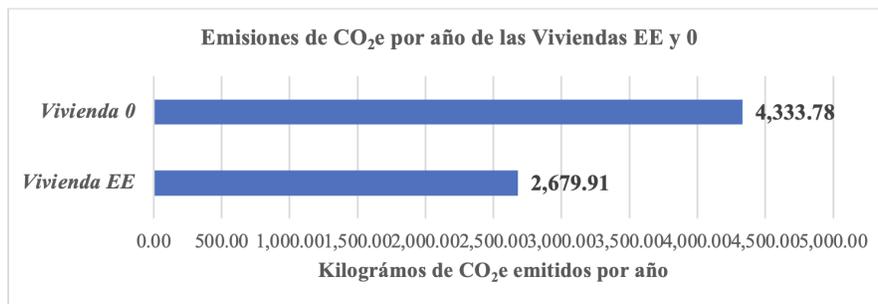
Resultados obtenidos de la simulación de uso de energía en Sefaira Web App para Sketchup

Figura 14. Uso de Energía UE en Viviendas EE y 0



Fuente: Elaborado por Muñoz L.

Resultados obtenidos de la simulación de uso de energía en Sefaira Web App para Sketchup

Figura 15. Emisiones de CO₂e por año de las Viviendas EE y 0

Fuente: Elaborado por Muñoz L.

Resultados obtenidos de la simulación de uso de energía en Sefaira Web App para Sketchup

En México, a través del programa de Acciones Nacionalmente Apropriadas para la Mitigación (NAMA), el desarrollo de vivienda sostenible ha sido motivado a través del otorgamiento de estímulos económicos a aquellos desarrolladores de vivienda que cumplan con ciertos alcances de eficiencia energética y ahorro de agua por medio del programa ECO CASA de CONAVI, el cual de igual manera, ha otorgado subsidios federales a familias de bajos ingresos para adquirir vivienda que cumpla con ciertos criterios de eficiencia energética y ahorro de agua a través del programa ESTA ES TU CASA (ProNAMA, 2012). Sin embargo, la investigación demuestra que la vivienda predominante en la ciudad de Hermosillo sigue siendo aquella que no cumple con los parámetros de eficiencia energética establecidos en México.

Conclusión

A partir del desarrollo de la investigación de lo ideal a lo real en eficiencia energética de la vivienda tipo interés social, se encontró que el uso de energía de la vivienda ideal (*Vivienda EE*) es casi 40% inferior al de la vivienda predominante en la ciudad de Hermosillo, Sonora (*Vivienda 0*), lo cual infiere una reducción de casi el 40% de emisiones de GEI, por lo que el diseño de vivienda energéticamente eficiente podría convertirse en un aliado para la mitigación del cambio climático en México, sobre todo en zonas con climas cálido-seco donde las olas de calor son más extensas en el verano y generan una intensa demanda del uso de equipos de enfriamiento en los edificios y vivienda.

El Código para la Conservación de Energía para las edificaciones en México, el Código de Edificación de Vivienda en su Tercera Edición, y las distintas normas oficiales mexicanas de eficiencia energética vigentes, contienen la mayor parte de los requisitos para establecer una *línea base* para la eficiencia energética de las edificaciones, considerando la envolvente, el acristalamiento y los requerimientos para iluminación, equipos HVAC y electrodomésticos. Sin embargo, no todos los parámetros requeridos en el estándar de *línea base* para llevar a cabo la simulación del uso de energía se encuentran en estas fuentes, por lo que es importante conocer una metodología que ayude a determinarlos, y de igual manera, permita analizar el uso de energía de edificaciones existentes. En base a lo anterior, en el desarrollo del presente trabajo, fue posible comparar el uso de energía de la *Vivienda de referencia* o *Vivienda 0* con respecto a la vivienda ideal —*Vivienda EE*, que cuenta con los parámetros de eficiencia energética nacionales. Con lo cual, estimar las emisiones de GEI liberadas por su uso.

La presente investigación establece que el sector habitacional es clave para apoyar a México en la mitigación del cambio climático, al estimular las medidas de mitigación establecidas en el Acuerdo de París, referentes a la *mejora de la eficiencia y del uso de energía*, y de igual manera podría reforzar el *aumento del uso de energías renovables y de tecnologías bajas en emisiones*, así como el *aumento de sumideros de carbono*, al integrar áreas verdes en el predio de la vivienda.

El desarrollo de vivienda energéticamente eficiente precisa incentivarse, y esto puede lograrse no sólo con programas gubernamentales intermitentes que apoyen su desarrollo si cumplen con un mínimo de requisitos, sino que además puede ser impulsado por el mercado inmobiliario, al valorar cada una de las características que representen un ahorro energético que apoya a la economía del usuario y al medio ambiente. 

Referencias Bibliográficas

- Banco Mundial. (2020). Población urbana. Obtenido de <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS>
- Burgett, J., & Chini, A. (2016). Using building and occupant characteristics to predict residential residual miscellaneous electrical loads: a comparison between an asset label and an occupant-based operational model for homes in Florida. *Journal of Building Performance Simulation*, 9(1), 84-100. doi:10.1080/19401493.2014.999122
- CEMEX. (s.f.). *Ficha técnica Multiplast*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2020, de <https://www.materialesjerez.com.mx/wp-content/uploads/2017/03/cemento-multiplast.pdf>
- CIDS. (1 de Febrero de 2020). *MANUAL DE VALIDACIÓN DE ATRIBUTOS DEL SISEVIVE. Sistema de Evaluación de la Vivienda Verde SISEVIVE-ECOCASA*. Recuperado el 15 de Octubre de 2020, de https://portal.mx.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/820866d3-ca0d-4d7b-b17a-7345390505b1/4_Manual_SISEVIVE.PDF?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=ROOTWORKSPACE-820866d3-ca0d-4d7b-b17a-7345390505b1-n1pFSzR
- Comisión Reguladora de Energía CRE. (27 de Febrero de 2020). Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional 2019. (G. d. México, Ed.) México. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/538473/Factor_emision_electrico_2019.pdf
- COMNET. (28 de Septiembre de 2015). *COMNET Plug Loads Technical Support Document (TSD)*. Obtenido de https://www.comnet.org/sites/default/files/pdfs/150928_plug_loads_tsd.pdf
- CONAVI. (2017). *Código de Edificación de Vivienda 3ra. Edición*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/320345/CEV_2017_FINAL_.pdf
- DOF. (27 de Noviembre de 2002). *NOM-008-SCFI-2002 Norma Oficial Mexicana, Sistema General de Unidades de Medida*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2020, de <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/scfi/scfi008-02.pdf>
- (22 de Junio de 2007). *NORMA Oficial Mexicana NOM-011-ENER-2006. Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo central, paquete o dividido. Límites, métodos de prueba y etiquetado*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2020, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/181652/NOM_011_ENER_2006.pdf
- (9 de Agosto de 2011). *NORMA Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011. Eficiencia energética en edificaciones - Envoltante de edificios para uso habitacional*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2020, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/181660/NOM_020_ENER_2011.pdf
- (18 de Octubre de 2012). *NORMA Oficial Mexicana NOM-024-ENER-2012, Características térmicas y ópticas del vidrio y sistemas vidriados para edificaciones. Etiquetado y métodos de prueba*. Obtenido de <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ener/ener024-1210.pdf>
- (04 de Septiembre de 2013). *Norma Mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013 Edificación Sustentable - Criterios y Requerimientos Ambientales Mínimos*. Obtenido de <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documents/Ciga/agenda/DOFsr/DO3156.pdf>
- (9 de Enero de 2013). *NORMA Oficial Mexicana NOM-017-ENER/SCFI-2012, Eficiencia energética y requisitos de seguridad de lámparas fluorescentes compactas autobalastadas. Límites y métodos*

- de prueba*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/181657/NOM_017_ENER_SCFI_2012.pdf
(07 de 08 de 2014). *NORMA Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2014, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales*. Obtenido de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355593&fecha=07/08/2014
(23 de Enero de 2014). *NORMA Oficial Mexicana NOM-032-ENER-2013, Límites máximos de potencia eléctrica para equipos y aparatos*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/181670/NOM_032_ENER_2014.pdf
(15 de Noviembre de 2016). *NORMA Oficial Mexicana NOM-005-ENER-2016, Eficiencia energética de lavadoras de ropa electrodomésticas*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/181645/NOM_005_ENER_2016.pdf
(02 de Septiembre de 2016). *NORMA Oficial Mexicana NOM026ENER2015, Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo dividido (Inverter) con flujo de refrigerante variable, descarga libre y sin ductos de aire. Límites, métodos de prueba y etiquetado*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2020, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/181666/NOM_026_ENER_2015.pdf
(7 de Julio de 2017). *NORMA Oficial Mexicana NOM-021-ENER/SCFI-2017, Eficiencia energética y requisitos de seguridad al usuario en acondicionadores de aire tipo cuarto. Límites, métodos de prueba y etiquetado..* Recuperado el 15 de Noviembre de 2020, de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/242715/NOM-021-ENER-SCFI-2017.pdf>
(17 de Enero de 2017). *NORMA Oficial Mexicana NOM-030-ENER-2016, Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (led)*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/183748/NOM-030-ENER-2016.pdf>
(28 de Junio de 2018). *NORMA Oficial Mexicana NOM-015-ENER-2018, Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, métodos de prueba y etiquetado*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/339724/NOM-015-ENER-2018.pdf>
(17 de Julio de 2018). *NORMA Oficial Mexicana NOM-023-ENER-2018, Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo dividido, descarga libre y sin conductos de aire. Límites, métodos de prueba y etiquetado*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2020, de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/349255/023.pdf>
(9 de Marzo de 2018). *NORMA Oficial Mexicana NOM-028-ENER-2017, Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/308295/NOM_028_ENER_2017_DOJ_09_marzo_2018.pdf
- Estrada, F., Botzen, W., & Tol, R. (2017). A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts. *Nature Clim Change* 7, 403-406. doi:<https://doi.org/10.1038/nclimate3301>
- FANOSA. (s.f.). *Soluciones que cumplen con la NOM-020-ENER-2011*. Recuperado el 20 de Octubre de 2020, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/84531/2_FANOSA.pdf
- Fundación Biodiversidad, Oficina Española de Cambio Climático, Agencia Estatal de Meteorología, Centro Nacional de Educación Ambiental. (2016). *Cambio climático: Informe de Síntesis. Guía resumida del quinto informe de evaluación del IPCC*. Madrid, España. Obtenido de [https://fundacion—biodiversidad.es/sites/default/files/informacion—institucional/guia—sintesis—definitiva.pdf](https://fundacion-biodiversidad.es/sites/default/files/informacion—institucional/guia—sintesis—definitiva.pdf)
- GCE, G. C. (S.F.). *Manual sobre el Sector de la Energía. Emisiones Fugitivas*. Recuperado el 04 de Abril de 2020, de <https://unfccc.int/sites/default/files/8—bis—handbook—fugitive—emissions.pdf>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. (R. K. Pachauri y L.A. Meyer). Ginebra, Suiza. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- GSA, U.S General Service Administration. (26 de Febrero de 2019). *Plug Load Frequently Asked Questions (FAQ)*. Recuperado el 09 de Noviembre de 2020, de <https://www.gsa.gov/governmentwide-initiatives/federal-highperformance-buildings/resource-library/energy-water/plug-load-frequently-asked-questions-faq>

- IECC-MÉXICO. (2016). *Código de Conservación de Energía para las Edificaciones en México*. Obtenido de <https://onnccc.org.mx/es/codigos-y-publicaciones/366-mbeecdc>
- INEGI. (7 de Noviembre de 2018). *Primera Encuesta Nacional Sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI)*. Recuperado el 22 de Octubre de 2020, de <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2018/EstSociodemo/ENCEVI2018.pdf>
- (2020). Número de habitantes en Sonora año 2020. Obtenido de <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/Son/Poblacion/>
- (s.f.). *Vivienda*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2020, de https://www.inegi.org.mx/temas/vivienda/#Informacion_general
- ONU HABITAT. (12 de mayo de 2021). ¿Qué es el Acuerdo de París? Obtenido de <https://onuhabitat.org.mx/que-es-el-acuerdo-de-paris>
- Perez, J. C. (2011). Estudio Numérico de la Resistencia Térmica en Muros de Bloques de Concreto Hueco con Aislamiento Térmico. *Información Tecnológica*, 22(3), 27-38. doi:10.4067/S0718-07642011000300005
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2007). Informe sobre desarrollo humano 2007-2008. La lucha contra el cambio climático. Nueva York, NY, Estados Unidos de América. Obtenido de http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_20072008_sp_complete_nostats.pdf
- ProNAMA. (Noviembre de 2012). *NAMA Vivienda Nueva. NAMA apoyada para la vivienda sustentable en México - acciones de mitigación y paquetes financieros*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2020, de http://climate.blue/download/biblioteca_pronama/nama_vivienda_nueva/nama_vivienda_nueva_financiamiento/GIZ%202012%20NAMA%20para%20la%20Vivienda%20Sustentable,%20acciones%20de%20mitigaci%C3%B3n.pdf
- Sefaira. (24 de Julio de 2017). *Explainer - Is Sefaira LEED compliant?* Obtenido de <https://support.sefaira.com/hc/en-us/articles/205394659-Explainer-Is-Sefaira-LEED-compliant->
- Sefaira. (28 de Junio de 2019). *ASHRAE 90.1 - 2013 - Metric Units*. Obtenido de <https://support.sefaira.com/hc/en-us/articles/202286579-ASHRAE-90-1-2013-Metric-Units>
- Sefaira. (29 de Octubre de 2020). *Controlling Infiltration in the Web-Application*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2020, de <https://support.sefaira.com/hc/en-us/articles/211849043-Controlling-Infiltration-in-the-Web-Application>
- Sefaira. (28 de Abril de 2020). *Natural Ventilation Feature - Overview and Set-up*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2020, de <https://support.sefaira.com/hc/en-us/articles/216504143-Natural-Ventilation-Feature-Overview-and-Set-up>
- Thermal Engineering. (17 de Septiembre de 2019). *What is Overall Heat Transfer Coefficient – U-factor – Definition*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2020, de <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-el-coeficiente-general-de-transferencia-de-calor-factor-u-definicion/>
- Vitro. (2020). *Ficha técnica Vidrio Neutral Claro*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2020, de <https://www.vitroglazings.com/media/vntko0ak/ficha-tecnica-claro.pdf>
- World Resources Institute. (2017). CAIT Climate Data Explorer. Washington, DC. Obtenido de CAIT Climate Data Explorer