



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ
INSTITUTO DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y ARTE
Maestría en Arquitectura

**ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO DE ESTRATEGIAS PASIVAS DE
CLIMATIZACIÓN PARA CLIMA SECO.**

Caso de estudio: vivienda de interés social en Ciudad Juárez, Chihuahua México.

Alumno: Arq. Liliana Karina Alba Gómez.

Introducción.

El costo de ciclo de vida, que en términos sencillos puede interpretarse como un análisis de costo beneficio para la producción de bienes y servicios, es un tema fundamental en la actualidad para conocer la conveniencia o pertinencia de algún proyecto a realizar; en este sentido las estrategias pasivas de climatización de propuestas arquitectónicas sostenibles se suponen esenciales para un modelo productivo que tenga entre sus objetivos el ahorro o el gasto inteligente, sin embargo dichas estrategias pocas veces son consideradas pues se carece de herramientas para evaluación de proyectos en función del ahorro y la sostenibilidad, una de las herramientas para lograr dicho objetivo es precisamente el cálculo del costo de vida.

Esta tesis de investigación busca analizar y evaluar las estrategias pasivas de climatización, a partir su ahorro energético y costo de ciclo de vida, que se pueden implementar en la vivienda de interés social construida en Ciudad Juárez, especialmente las que se desarrollan en los linderos perimetrales de la mancha urbana o áreas periféricas, con la finalidad de determinar cuáles estrategias conviene agregar en términos económicos a este tipo de viviendas ya construidas localizadas en un clima seco, como el de esta localidad, en el entendido que cada región geográfica representa un conjunto de características diversas y que la forma arquitectónica debe por principio corresponderse con dicha región.

Existen otros trabajos o líneas de investigación que abordan técnicas, tecnologías y estrategias para la realización de proyectos arquitectónicos es decir desarrollo de viviendas por producirse; este ejercicio aborda la problemática de viviendas ya construidas cuya forma arquitectónica no se corresponde con el lugar, no abriga, cobija o resguardar apropiadamente a sus moradores, por ello se propone como eje rector de la investigación, la reconversión de viviendas de interés social ya edificadas y que pueden encontrarse habitadas o abandonadas en toda la ciudad, especialmente los desarrollo en el borde suroriente de Ciudad Juárez.

Objetivo general

Analizar estrategias pasivas de climatización, a partir su ahorro energético y costo de ciclo de vida, que se pueden implementar en la vivienda de interés social construida en Ciudad Juárez, con la finalidad de determinar cuáles estrategias conviene sumar a este tipo de viviendas localizadas en un clima seco.

Objetivos particulares

Definir las que estrategias pasivas de climatización pertinentes para el clima de Ciudad Juárez, con la finalidad de ponderar aquellas de mayor importancia.

Llevar a cabo la simulación de las estrategias seleccionadas, a través del programa Design Builder, para obtener los resultados del consumo energético, de los dispositivos que comprenden dichas estrategias.

Calcular el ahorro económico de cada una de las estrategias, a través del análisis del costo de ciclo de vida ACCV.

Pregunta central de la investigación

¿Cuál es ahorro energético y económico, al implementar estrategias pasivas de climatización en la vivienda de interés social?

¿Es realmente relevante el ahorro que se deriva de la implementación de una estrategia pasiva de climatización, en comparación con la inversión de un monto a largo plazo o la incertidumbre del retorno de la inversión inicial?

Hipótesis

Las estrategias pasivas de climatización en la vivienda de interés social representan un ahorro económico y energético relevante, que influye positivamente en la economía de las familias que habitan viviendas de interés social.

Justificación

Comprender la problemática global en el marco del desarrollo sostenible e identificarla a nivel local, problematizar y proponer algunas alternativas que coadyuven a cumplir con los propósitos de este, son algunas de las razones por las cuales esta investigación ha sido desarrollada con énfasis en la vivienda de interés social, pues según los indicadores

que varios autores han estudiado a nivel local: “Ciudad Juárez fue una de las principales ciudades receptoras de la política de vivienda del gobierno federal puesta en marcha desde al año 2002, de forma tal que produjo el mayor número de vivienda económica a nivel nacional en cuatro ocasiones consecutivas” (Maycotte, et al., 2015: 9).

Lo anterior debido a que esta ciudad Juárez contiene a 1,242,841 habitantes (INEGI,2015), que representa el 34.81% de la población total del estado de chihuahua en el que se localiza. “Además, cerca del 82% de la población económicamente activa tiene ingresos iguales o menores a 3.9 veces el salario mínimo (VSM), lo cual hace a esta población potencial beneficiario de financiamientos ofertados por instituciones públicas, principalmente Infonavit” (Maycotte, et al., 2015: 9).

Podría pensarse que tener una población económicamente activa que puede acceder a este tipo de viviendas ofertadas por el Instituto nacional de la vivienda (INFONAVIT) representa un beneficio para el crecimiento formal de la ciudad, pero esto es relativamente cierto, ya que las 490,670 viviendas particulares (INEGI, 2015) que se encuentran en ciudad Juárez 115,692 están deshabitadas y de estas 30 mil son viviendas financiadas por el mismo INFONAVIT, que es el encargado de proporcionar vivienda digna para la clase trabajadora, y si bien este adjetivo fuese verdadero no habría esta cantidad de casas deshabitadas, pues estas casas no responden a las necesidades del individuo y ni a las del lugar en este caso ciudad Juárez con un clima extremo.

Uno de los ejes del desarrollo sostenible que retoma esta investigación es el económico, pues surge con ello un tema transversal poco explorado en una economía como la mexicana en la que el crecimiento promedio es del 2% en los últimos años lo cual no favorece la movilidad social, es decir existe una pobreza estructural.

Aproximadamente 40% de los hogares viven en pobreza energética (Garcia, R., Graizbord B, 2016), entendida esta como la situación en la que se encuentran las familias que destinan más del 10% de su ingreso familiar en pago de servicios (Boardman 2010), específicamente en el pago de electricidad y gas. En términos generales como un gasto superior al 10% del ingreso familiar, el gasto por encima del salario pierde su poder adquisitivo, y las familias tienen una limitada capacidad de ahorro; el crédito para bienes

y servicios disponible es costoso. Se requiere acciones que con su impacto beneficien genuinamente a las personas.

Esta investigación pretende explorar este campo, pues la mayoría de las investigaciones locales realizadas sobre el tema de ahorro energético en la vivienda, se centran básicamente en analizar estrategias climáticas, estudios sobre las características de los materiales, propuestas de nuevas técnicas y materiales que logren un buen diseño bioclimático, sin abordar el tema de la factibilidad económica a largo plazo con datos cuantitativos verificables.

Marco teórico-conceptual

Vivienda y sostenibilidad.

Actualmente resulta imprescindible abordar el tema de sostenibilidad en relación con problemáticas de la forma construida, en este caso la vivienda de interés social. En el año 1983, en el seno de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), surge la Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente con la intención de comprender el fenómeno de crecimiento económico y el medio ambiente, proponer acciones y evaluar los respectivos resultados.

En 1987 esta comisión publica un informe titulado *Nuestro futuro en común*, en el cual se instaura el concepto contemporáneo de desarrollo sostenible con la siguiente descripción: “Está en manos de la humanidad asegurar que el desarrollo sea sostenible, es decir, asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias”. (Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente, 1987), principio que a partir de ese momento se introduce en distintas disciplinas del conocimiento como un enfoque específico para abordar problemáticas particulares.

Cuando hablamos de vivienda social y proponemos alternativas de diseño, es imperativo pensar en desarrollo sostenible. Ya no podemos considerar un proyecto de vivienda ajeno a las situaciones económicas que afectan nuestro país y al mundo. Ya no podemos cerrar los ojos y creer que las acciones u omisiones de diseño no tienen impacto en el medio ambiente. No podemos construir sin considerar la problemática

social y calidad de vida del futuro usuario. Cuando diseñamos, debemos abordar la solución desde esta perspectiva, solo así es que un proyecto de vivienda se puede considerar completo e integral. Esto favorecerá que las ciudades sean más sustentables y que vayan a la par con los objetivos del desarrollo sostenible a nivel global.

“México es un país con gran demanda de vivienda y el potencial para mejorar las condiciones de los usuarios y tener un impacto positivo en el ambiente es enorme. Los desarrolladores de vivienda deben de estar convencidos de los beneficios que el diseño de desarrollos sustentables les crea. La sociedad informada y consciente deberá empezar a exigir la construcción de vivienda sustentable como un medio para mejorar la calidad de vida, garantizar la conservación de nuestros recursos naturales y asegurar el bienestar a las futuras generaciones” (Sánchez J., 2008, p.182).

Considerar el impacto de este número de viviendas debe ser primordial en la agenda de los todos los países. Por estas razones, el tener en cuenta una estrategia sostenible en el momento de planear, diseñar y construir es la oportunidad de mejorar la calidad de vida de millones de personas en México. Al integrar estrategias climáticas a la vivienda de interés social los habitantes pueden estar más tiempo en su zona de confort gracias a las estrategias climáticas y a la correcta consideración de las condiciones del clima del lugar al aplicarlas, pues no todas las temporadas del año se hace necesario utilizar medios mecánicos para lograr este confort y las estrategias bioclimáticas pasivas son suficientes para lograrlo.

Análisis del costo de ciclo de vida

La incertidumbre de los resultados a largo plazo en la implementación de estrategias es una de las primeras disyuntivas con que se encuentra el usuario, sin embargo, el método del ACCV es una herramienta económica que nos puede ayudar a la toma de a futuro. El manual *Hanbook 135* titulado “Life-cycle costing manual of the US departament of commerce”, es una guía para entender la metodología del costo de ciclo de vida y criterios establecidos por el programa federal de gestión de energía para la evaluación económica de proyectos de conservación de energía y agua y proyectos de energía renovable en un edificio federal.

El análisis debe incluir la visualización de cuál alternativa es la mejor para empezar como, por ejemplo, aislación térmica en techo, aislación térmica en muros, ventanas doble vidrio y otras estrategias pasivas como plantar un árbol en su vivienda, todas estas alternativas deberán plantearse y analizarse antes de comenzar la reconversión de la vivienda. Así mismo se toman en cuenta la evaluación de niveles de eficiencia, método ahorro-inversión, criterios para asignar prioridades, costo de oportunidad, evaluación social, efectos indirectos como menor emisión de CO₂, puntos de vista del ahorro energético, hasta llegar a la evaluación de si estos proyectos son justificables económicamente según el costo de vida útil

Estrategia metodológica

La estrategia metodológica utilizada para abordar el tema en cuestión se estructura en ocho fases que permiten lograr los objetivos propuestos. Compuesta por una combinación de dos metodologías: la bioclimática y la simulada; la primera comprende información general, síntesis, diagnóstico; la segunda es la metodología simulada que es propia para la investigación en arquitectura, y consiste en generar escenarios simulados y obtener resultados sin que sea necesario hacer un trabajo de campo.

Fases de esta investigación:

1. Compilación de datos
2. Síntesis, diagnóstico y estrategias
3. Selección de estrategias a partir de simulación térmica, costo y accesibilidad de las personas
4. Categorización por ahorro energético de las estrategias
5. Análisis de costo de ciclo de vida
6. Categorización de propuestas viables económicamente
7. Discusión de resultados
8. Conclusiones y recomendaciones.

Descripción de las estrategias seleccionadas.

Modelo base (MB).

Se nombrará “Modelo Base” (MB) al estado actual del diseño de la vivienda, sin ninguna intervención o mejora adicional.

Aleros y parte soles (AP).

Esta estrategia considera la construcción de aleros y parte soles en ventanas con mayor incidencia solar.

Doble vidrio (DV).

En la opción número dos, se contempla el cambio del total de las ventanas de la vivienda por ventanas doble vidrio de 3mm, con una cámara de aire de 13mm. Ver propiedades.

Aislamiento den cubierta (AT).

Impermeabilización y aislamiento térmico de azotea a base de una capa de 2" de poliuretano esreado densidad 3.0 lb/ft3 Bayseal, con un recubrimiento elastomerico de 32 milésimas Baylock,

Aislamiento en muros (AM).

En esta opción, se considera el aislamiento térmico de muros a base de una capa de 2" de poliuretano esreado densidad 3.0 lb/ft3 Bayseal. Recubrimiento

Todas las estrategias (TA).

Esta estrategia considera el conjunto de todos los dispositivos propuestos en las alternativas AP, DV, AT Y AM.

RESULTADOS Y DISCUSION

Resultados del Consumo energético por climatización.

En el periodo cálido, con respecto al consumo por climatización artificial del modelo base, se observó que todas las estrategias propuestas redujeron este consumo. La opción 1 que considera la construcción de aleros y parte soles en la fachada poniente solo reduce este consumo en un 3.82 % en comparación con el modelo base. Mientras que la opción 2 que propone el cambio de ventanas de vidrio sencillo por ventanas doble vidrio ahorra hasta un 53.95% del consumo energético en esta temporada.

Tabla 1.
Consumo energético anual en kw/h.

<i>Alternativa</i>	<i>Periodo Cálido KW/HR</i>	<i>Periodo Frío KW/HR</i>
<i>MB</i>	671.83	8889.92
<i>AP</i>	646.16	5413.45
<i>DV</i>	309.4	2598.6
<i>AC</i>	236.74	2396.37
<i>AM</i>	36.08	1537.5
<i>TA</i>	8.07	1069.94

comparado con el modelo base es de hasta un 98.80%. Considerando esto se puede afirmar que es si se implementan todas las estrategias antes mencionadas es

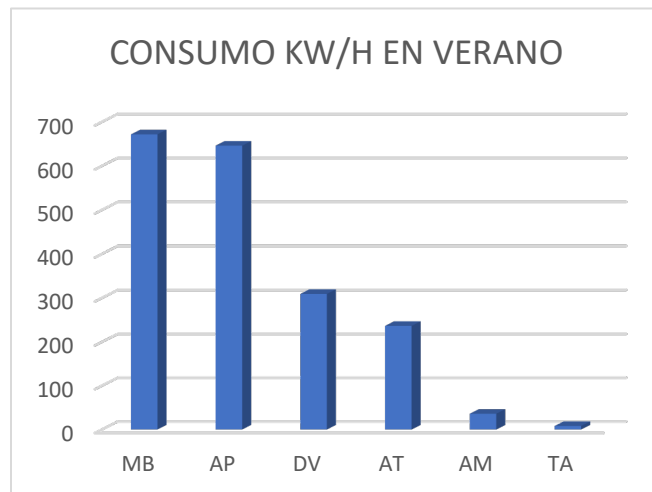


Figura 1. Grafica de consumo energético en verano. Elaboración propia con datos de simulación en Design Builder.

La opción 3, redujo hasta un 64.76% con solo aislar la cubierta, la opción 4 que plantea el aislamiento en muros ahorra hasta un 94.63 % de consumo energético del total que consume el modelo base y por ultimo al modelar todas las estrategias planteadas en conjunto se obtiene que el consumo energético es prácticamente nulo, pues el ahorro en este consumo

comparado con el modelo base es de hasta un 98.80%. Considerando esto se puede afirmar que es si se implementan todas las estrategias antes mencionadas es prácticamente innecesario utilizar el clima artificial para este tipo de vivienda (Ver fig.1).

En el periodo frío, la mayoría de las estrategias dieron como resultaron consumos menores de gas, el conjunto de todas las estrategias TA logra un ahorro de 80.12 % del total de gas que consume el modelo base MB en temporada de invierno; con excepción

de la estrategia planteada en la opción AP, pues el consumo aumento en un 0.56 %

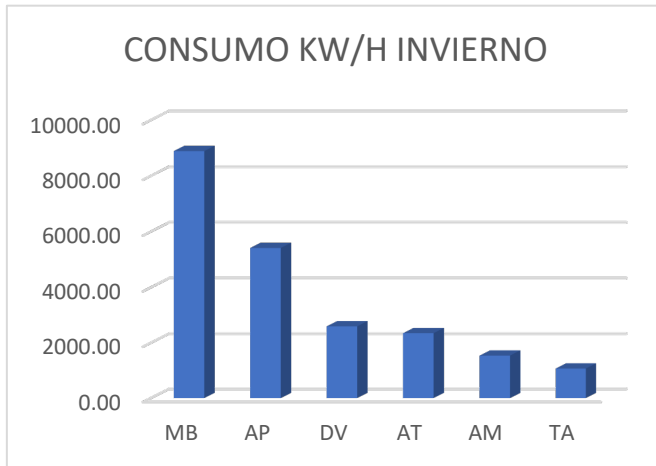


Figura 2. Grafica de consumo energético en verano. Elaboración propia con datos de simulación en Design Builder.

comparado con el modelo base, esto se explica porque aleros y parte soles propician una pérdida en lugar de ganancia solar, aun y cuando estos sean diseñados estratégicamente para verano y con la menos incidencia en invierno, en el balance se recomienda, pues el consumo extra es menor al 1% comparado 3.8% de ahorro en verano.

La opción DV es una buena estrategia pues ayuda a ahorrar hasta un 51.73% del consumo de gas, la opción AT un

56.35 %, la opción AM hasta un 71.44 % de ahorro.

5.2 Resultados del Análisis del costo de Ciclo de Vida ACCV

Depositar en el banco el total monto total del costo de los dispositivos propuestos a plazo fijo con una tasa nominal de 4.22% y considerando una inflación propuesta de 4.03%, para obtener un rendimiento a futuro. Cálculo a 30 años tomando en cuenta la tasa de descuento real.

Cálculo de la tasa de descuento para la inversión y energía eléctrica respectivamente, y Cálculo de valor futuro tomando en cuenta la tasa de descuento real.

$$d = \frac{(1 + D)}{(1 - I)} - 1 \quad d = \frac{(1 + 0.0422)}{(1 - 0.0403)} - 1 \quad d = 0.001826 \quad d = \frac{(1 + D)}{(1 - I)} - 1 = \frac{(1 + 0.05)}{(1 - 0.0403)} - 1 \quad d = 0.0093$$

$$Vf = Vp(1+d)^n \quad Vf = (Vp) * (1 + 0.001826)^{30}$$

Tabla 2.

Análisis de costo de ciclo de vida. Elaboración propia

ALTERNATIVAS	INVERSION INICIAL	KW/H ANUAL	KW/H 30 AÑOS	COSTO KW/H (30)	C.ENERGIA+INVERSION	AHORRO	RENDIMIENTO DE INV.
MB	0.00	9561.76	286852.80	\$ 290,984.98	\$ 290,984.98	0.0	0.00
AP	\$ 2,562.28	6059.00	181770.00	\$ 184,388.44	\$ 186,950.72	\$ 104,034.26	\$ 2,706.42
DV	\$ 12,515.00	2908.00	87240.00	\$ 88,496.71	\$ 101,011.71	\$ 189,973.27	\$ 13,219.04
AT	\$ 29,977.29	2586.40	77592.00	\$ 78,709.73	\$ 108,687.02	\$ 182,297.96	\$ 31,663.68
AM	\$ 44,383.44	1573.59	47207.70	\$ 47,887.74	\$ 92,271.18	\$ 198,713.80	\$ 46,880.25
TA	\$ 89,438.01	1078.02	32340.72	\$ 32,806.60	\$ 122,244.61	\$ 168,740.37	\$ 94,469.38

El costo total del consumo de energía a 30 años del modelo base sin mejoras asciende a \$ 290,984.98 pesos, valor actualizado a moneda constante según el análisis del costo



Figura 3. Grafica de ahorro económico de cada una de las alternativas. Elaboración propia.

de ciclo de vida. La mejor estrategia económica es el aislamiento en muros AM, pues se tiene un ahorro de \$198,713.80 pesos, considerado el costo inicial de la implementación de este dispositivo en los muros por \$ 44,383.44 pesos en el periodo propuesto, ya que el gasto de energía en pesos es tan solo \$ 47, 887.74 está (ver tabla 14). En quinto lugar, se encuentra la alternativa AP aleros y parte soles con un ahorro al final del

periodo de \$ 104,034.26, que comparado con el rendimiento de la inversión a largo plazo de \$ 2 706.42 pesos y el costo inicial de este dispositivo que es \$2 562.28, sigue siendo definitivamente una opción totalmente viable que se puede emplear en la reconversión de la vivienda. Por último, la opción de no hacer nada que representa el modelo base MB, tiene un costo mayor del 63.36% comparada con la mejor alternativa AM, esto quiere decir que la vivienda en el estado actual que se encuentra representa una perdida excesiva en el gasto familiar que puede ser sustituida por una ganancia o ahorro a largo plazo si se implementa cualquiera de las alternativas propuestas.

Categorización de las estrategias según emisiones de CO2

En esta categorización se tomó en cuenta las emisiones de CO2 que es por tanto correlativa a el consumo de energía de cada una de las propuestas. Los datos que se utilizaron para realizar este cálculo se obtuvieron con información de la CRE (comisión reguladora de energía) de 2020, que nos indica que un 1kw/h de energía eléctrica genera 0.505 kg de CO2. La opción más sostenible de las cinco estrategias planteadas es la TA que considera la implementación de todas las estrategias, pues tiene un menor consumo de energía y por ende una menor emisión de CO2.

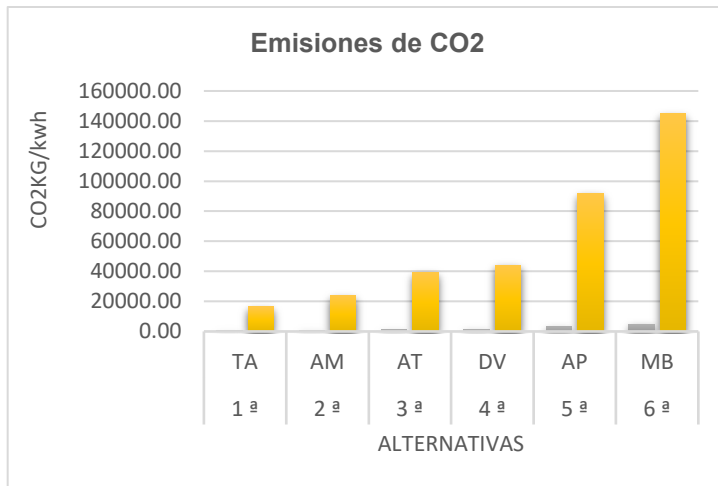


Figura 4. Emisiones CO2 de las alternativas. Elaboración propia.

En segundo lugar, se ubica la alternativa AM aislamiento en muros, seguida por la AT aislamiento en techo (ver tabla 17). Si bien la opción DV se cataloga como la segunda mejor opción según el ahorro económico, para la categorización por emisiones de CO2 se ubica en cuarto lugar (Ver tabla 15) debido a la cantidad de emisiones generadas en comparación con las demás

estrategias propuestas, pero en contraste con el modelo base se obtiene una diferencia considerable de 6,653.76 Kg de CO2.

Conclusión.

La hipótesis que se planteó al inicio de la investigación fue: si las estrategias pasivas de climatización en la vivienda de interés social representarían un ahorro económico y energético relevante, que influiría positivamente en la economía de las familias que habitan las viviendas de interés social, lo cual se puede concluir que es un hecho, demostrado en el análisis y evaluación de los resultados; todas las estrategias simuladas por ordenador mediante el uso de un programa computacional especializado representaron un ahorro real, tanto energético, y por medio del análisis de ciclo de vida queda demostrado también que hay un ahorro económico y sostenible en mayor o menor medida comparadas con la vivienda en su estado actual, antes de la reconversión por medio de los dispositivos propuestos en la simulación.

Otra conclusión a la que se llegó después de este proceso de investigación es que al analizar y evaluar las estrategias pasivas desde el marco del costo de ciclo de vida se abre un panorama económico relevante poco explorado a nivel local que podría resultar en proyectos sostenibles contundentes. Si bien el factor económico es determinante en la producción arquitectónica, un enfoque renovado lo representa decidir la forma del objeto y los elementos, sistemas constructivos y dispositivos que las integran, en función de su

ahorro energético con la finalidad de que esto contribuya a disminuir la pobreza energética en la que viven las familias que habitan estas viviendas en nuestro país.

Es recomendable hacer un estudio para valorar la posible réplica de las estrategias analizadas en el documento en viviendas de interés social que ya han sido construidas con las características del caso de estudio, y que forman parte de fraccionamientos y unidades habitacionales de gran envergadura en la ciudad, y con ello poder plantear diferentes escenarios posibles para la reconversión de estas vivienda, para tener un impacto positivo en la economía de las familias que las habitan, y proponer este tipo de estudios con una perspectiva para abatir la pobreza energética en la que entran estas familias cuando destina más de un 10% de sus ingresos para este rubro.

Referencias.

1. Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente, (1987). Nuestro futuro en común (A/42/427). Recuperado de <http://www.un-documents.net/ocf-02.htm>
2. Garcia, R., Graizbord B, (2016). *Caracterización espacial de la pobreza energética en México. Un análisis a escala subnacional*. Sociedad y Territorio, vol. Economía, Sociedad y Territorio, vol. XVI núm. 51, 2016, 289-337 XVI, núm. 51, 2016, 289-337
3. Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (2020). México Recuperado de <https://portalmx.infonavit.org.mx/>
4. Maycotte E, Sánchez E, Chávez J, Moreno R, Gómez Á, (2015). *Movilidad social de propietarios de viviendas de interés social adquiridas en el periodo 2002-2010 en ciudad Juárez, chihuahua, en términos de la vivienda y entorno urbano 2015*. Ciudad Juárez, México: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
5. Sánchez J., 2008. *La vivienda social en México*. México DF, México: Sistema Nacional de Creadores de Arte.