

Análisis de costo-beneficio de estrategias de climatización pasiva en vivienda social en Ciudad Juárez, Chihuahua

Cost-benefit analysis of passive air conditioning strategies in social housing in Ciudad Juarez, Chihuahua

Doi: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v2i10.165>

LILIANA KARINA ALBA GÓMEZ

<http://orcid.org/0000-0002-5818-571X> / al186994@alumnos.uacj.mx
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México

LUIS CARLOS HERRERA SOSA

<http://orcid.org/0000-0002-7663-200X> / carlos.herrera@uacj.mx
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México

CARLOS JAVIER ESPARZA LÓPEZ

<http://orcid.org/0000-0003-0058-5072> / cesparza@ucol.mx
Universidad de Colima, México

Recibido: 03 de diciembre de 2020. Aceptado: 21 de abril de 2021.

RESUMEN

La vivienda de interés social es un segmento de la construcción que se encuentra regido principalmente por interés económico, tratando de solventar una problemática social. En años recientes se ha vertido un auténtico interés en este tipo de vivienda por responder a su adaptación climática en aras de responder a la función primigenia del hábitat: generar un refugio del exterior. Sin embargo, pareciera que los estudios realizados hacia la reconversión de la vivienda más adecuada al ambiente contraponen los intereses económicos y, por ende, se descartan de manera automática. Con esta investigación se pretende demostrar la posibilidad de aplicar adecuaciones climáticas pasivas a viviendas construidas sin socavar la economía familiar, mediante un análisis de costo-beneficio aplicando la metodología de análisis de costo de ciclo de vida. El estudio se realizó mediante simulaciones de escenarios, implementando mejoras a una vivienda tipo de 50.95 m². Los escenarios simulados fueron el modelo base (MB), implementación de protección solar,

aislamiento en ventanas, aislamiento en cubierta, aislamiento en muros y todas las estrategias previas. El análisis de costo-beneficio se realizó mediante una proyección numérica a 30 años con una tasa de inflación para la energía eléctrica del 5%, de interés nominal del 4.22% y de inflación de 4.03%. Los resultados mostraron que los modelos con mayor eficiencia fueron todas las estrategias (98.5%) y aislamiento en muros (94.6%). En términos económicos, el mayor ahorro neto fue el aislamiento en muros por encima de todas las estrategias, con un ahorro de \$196,216.99 con un tiempo de retorno de siete años.

Palabras clave: costo-beneficio, vivienda social, México, adecuación climática, simulación.

ABSTRACT

Low-income housing is a segment of construction that is governed mainly by economic interests trying to solve a social problem. In recent years there has been a real interest in this type of housing to respond to its climatic adaptation



in order to respond to the original function of the habitat: to generate a refuge from the outside. However, it seems that the studies carried out toward the conversion of the most suitable housing to the environment contradict economic interests and, therefore, are automatically discarded. This research aims to demonstrate the possibility of applying passive climatic adaptations to build homes without undermining the family economy, through a cost-benefit analysis applying the life cycle cost analysis methodology. The study was carried out through simulations of scenarios implementing improvements to a 50.95 m² typical house. The simulated scenarios were the base model (MB), implementation of solar protection, window insulation, roof insulation, wall insulation, and all previous strategies. The cost-benefit analysis was carried out through a 30-year numerical projection with an inflation rate for electric power of 5%, a nominal interest rate of 4.22%, and an inflation rate of 4.03%. The results showed that the models with the highest efficiency were all strategies (98.5%) and insulation in walls (94.6%). In economic terms, the greatest net saving was the insulation in walls above all the strategies, with a saving of \$196,216.99 pesos with a payback time of seven years.

Keywords: cost-benefit, social housing, Mexico, climate adaptation, simulation.

INTRODUCCIÓN

El análisis de costo de ciclo de vida (ACCV), que en términos sencillos puede interpretarse como un análisis de costo-beneficio para la producción de bienes y servicios, es un tema fundamental para conocer la viabilidad económica de los proyectos que integran propuestas pasivas o de ahorro energético.

En la actualidad las propuestas arquitectónicas bioclimáticas, como la aplicación específica de estrategias de climatización pasiva, se suponen esenciales para un modelo productivo que tenga entre sus objetivos el ahorro o el gasto inteligente. Sin embargo, por lo regular dichas es-

trategias sólo se valoran desde el punto de vista del ahorro energético y pocas veces son consideradas desde la viabilidad económica durante todo el ciclo de vida.

Este trabajo de investigación parte de la pregunta: ¿cuál es el ahorro energético y económico que se deriva de la implementación de estrategias de climatización pasiva en la vivienda de interés social en Ciudad Juárez, en comparación con la inversión a largo plazo o la incertidumbre del retorno de la inversión inicial?

El objetivo general de este artículo es presentar los resultados de evaluar cinco estrategias de climatización pasiva, con la finalidad de determinar cuál estrategia es la más eficiente, ponderando el ahorro energético y el costo económico desde el punto de vista del habitante de vivienda social de 50.95 m² de construcción (Comisión Nacional de Vivienda [México], 2007: 51), ubicada principalmente en los linderos perimetrales de la traza urbana, en el clima cálido seco como es el caso de Ciudad Juárez, Chihuahua.

En este proyecto de investigación se aborda la problemática de viviendas ya construidas, partiendo de la premisa de que su forma arquitectónica no corresponde con el clima cálido seco de Ciudad Juárez, 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 desarrollos en el borde suroriente de Ciudad Juárez.

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 éste, son algunas de las razones por las cuales esta investigación ha sido desarrollada con énfasis en la vivienda de interés social. De acuerdo con Maycotte *et al.* (2015: 9), “Ciudad Juárez fue una de las principales ciudades receptoras de la política de vivienda del Gobierno federal puesta en mar-

cha desde al año 2002, de forma tal que produjo el mayor número de vivienda económica a nivel nacional en cuatro ocasiones consecutivas”.

Esto se debe a que Ciudad Juárez tiene 1'242,841 habitantes (INEGI, 2015), que representan el 34.81% de la población total del estado de Chihuahua.

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 una población económicamente activa puede acceder a este tipo de viviendas que oferta el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (Infonavit), que es la institución gubernamental encargada de proporcionar vivienda digna para la clase trabajadora, lo cual no es del todo cierto, pues de acuerdo con datos del INEGI (2015), de las 490,670 viviendas particulares que se encuentran en Ciudad Juárez, 115,692 están deshabitadas y de éstas, 30 mil son viviendas financiadas por esta institución. Esta situación de abandono ha sido producto de que estas viviendas no responden a las necesidades espaciales y de ubicación que requieren sus habitantes, pues se localizan en áreas alejadas de la traza urbana y, además, no resuelven de manera adecuada las necesidades de refugio para el clima extremo del lugar (Herrera, Ordóñez y Peña, 2018).

En México, aproximadamente el 40% de los hogares viven en pobreza energética (García y Graizbord, 2016), entendida ésta como la situación en la que se encuentran las familias que destinan más del 10% de su ingreso familiar en pago de servicios (Boardman, 2013), específicamente en el pago de electricidad y gas. En términos generales un gasto superior al 10% del ingreso familiar pierde su poder adquisitivo, y las familias tienen una limitada capacidad de ahorro.

Por lo anterior, en esta investigación se aborda el eje económico del desarrollo sostenible, pues la mayoría de las investigaciones locales realizadas en analizar estrategias climáticas versan

exclusivamente en torno al ahorro energético en la vivienda, centrándose básicamente en estudios sobre las características de los materiales (Velázquez, 2017), propuestas de nuevas técnicas y materiales que logren un buen diseño bioclimático (Esparza *et al.*, 2018; García-Solórzano *et al.*, 2020), y dejan de lado el tema de la factibilidad económica a largo plazo con datos cuantitativos verificables.

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) surgió 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 publicó un informe titulado *Nuestro futuro en común* (Brundtland, 1987), en el cual se instaura el concepto contemporáneo de desarrollo sostenible con la siguiente descripción: “[...] El desarrollo sostenible requiere satisfacer las necesidades de todos y extender a todos la oportunidad de satisfacer sus aspiraciones a una vida mejor [...]” [*Sustainable development requires meeting the basic needs of all and extending to all the opportunity to satisfy their aspirations for a better life*] (Brundtland, 1987: 37), principio que a partir de ese momento se introdujo 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, sólo así es que un proyecto de vivienda se puede considerar completo e integral. Esto favorecerá que las ciudades sean más sostenibles 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, 2008: 182).

Considerar el impacto de este número de viviendas debe ser primordial en la agenda de 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 incluir en el diseño de la vivienda de interés social conceptos de adecuación climática y estrategias de climatización pasiva de acuerdo con los requerimientos específicos de cada lugar, permite que los habitantes puedan estar más tiempo en su zona de confort a un menor costo energético.

ANÁLISIS DEL COSTO DE CICLO DE VIDA

La incertidumbre de los resultados a largo plazo en la implementación de estrategias de climatización pasiva 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 decisiones presentes a futuro. Existen metodologías globalmente aceptadas como la desarrollada por Fuller

y Petersen (1996) que sirve como 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 en Estados Unidos y que puede aplicarse en análisis de costo-beneficio en otro tipo de edificios.

El análisis de costo-beneficio debe incluir la visualización de cuál alternativa o estrategia pasiva es la mejor; por ejemplo: aislación térmica en techo, aislación térmica en muros, ventanas doble vidrio en la vivienda, entre otras; todas estas alternativas deberán plantearse y analizarse antes de comenzar la reconversión de la vivienda. Asimismo 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 determinado.

METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS

La investigación desarrollada se aplicó a un modelo de vivienda de 50.95 m², bajo un esquema metodológico de tipo cuantitativo con análisis causa-efecto, por medio de simulación, que pone énfasis en el uso de modelos y analogías (Groat y Wang, 2002) (véase tabla 1).

CASO DE ESTUDIO

La vivienda de estudio se encuentra ubicada en el área periférica al suroriente de Ciudad Juárez, en el fraccionamiento Pedregal de San Isidro III, etapa II. Forma parte del desarrollo de viviendas económicas desarrolladas masivamente a partir del año 2005.

El sistema constructivo es el siguiente: muros de bloque de concreto medio de 0.15 m de espesor, con acabados de mortero a base de cemento: arena de 0.025 m de espesor al exterior y yeso de

TABLA 1
Método de investigación aplicado

Diseño de investigación		
Objeto de estudio Vivienda de interés social de 50.95m ²	Parámetros de evaluación Ahorro energético Análisis costo-benefici	Método de evaluación Simulación térmica dinámica Análisis costo-benefici
Caso base		
Criterios de selección de estrategias de climatización pasiva	Características físico-espaciales y constructivas	Variaciones de estrategias de climatización pasiva
Simulación térmica		
Archivos meteorológicos	Estrategia de simulación	Criterios de selección del simulador
Estudio comparativo		
Conclusiones		

Fuente: Groat y Wang (2002).

0.015 m de espesor al interior. Cubierta a base de vigueta y bovedilla con casetón de 0.15 m de espesor con acabado interior de yeso de 0.15 m de espesor e impermeabilizado con asfalto de 0.01 m de espesor al exterior. El piso interior es de concreto armado de 0.10 m de espesor. Las puertas exteriores de madera densa de 0.006 m de espesor. Por último, las ventanas de vidrio sencillo de 0.003 m de espesor.

SIMULACIÓN TÉRMICA

Para la simulación se utilizó el programa Desing Builder 6.0. Este programa proporciona los datos del desempeño ambiental requeridos para la investigación, tales como: consumo de energía por climatización del edificio, ventilación natural, protección de radiación solar directa, temperaturas máximas y mínimas de los espacios (DesingBuilder®, 2010).

DesignBuilder® utiliza EnergyPlus™ como herramienta de cálculo para la simulación dinámica. Para los datos meteorológicos se utilizó el archivo EPW MEX_CHH_Ciudad.Juarez-Gonzalez.Intl.AP.760753_TMYx.2004-2018.zip (Onebuilding.org, 2020).

El periodo de análisis: del 01 de enero al 31 de diciembre, además se hizo un estudio para el periodo cálido (mayo a septiembre) y otro para el periodo frío (noviembre a marzo).

Se consideró el caso de estudio como modelo base, el cual será comparado con cada una de las estrategias pasivas a evaluar.

ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO

El análisis de costo-beneficio es una herramienta de evaluación de proyectos, útil para evaluar si un proyecto producirá beneficios superiores a sus costos y de esta manera determinar, entre varias alternativas válidas para conseguir un propósito, cuál obtiene los beneficios buscados con el menor costo y cuál produce el mayor beneficio neto para la economía en conjunto.

Son seis los pasos que se deben considerar para llevar a cabo el análisis de costo-beneficio:

1. Definir el proyecto: en qué consiste, y en qué consiste su alternativa.
2. Definir los costos y los beneficios que brindarán ambas situaciones.
3. Asignar valores (en términos monetarios) a los beneficios y costos definidos.
4. Actualizar los valores al momento presente.
5. Aplicar criterios de decisión (obtener un único número que facilite la toma de decisiones).
6. Si hay que decidir entre varios proyectos rentables, establecer criterios para asignar prioridades.

El análisis de costo-beneficio se hizo desde el punto de vista del habitante a un periodo de estudio de 30 años, por el tiempo de vida del bien inmueble y por la duración del crédito que asume el habitante para su adquisición. La tasa de inflación para la energía eléctrica se consideró del 5% de acuerdo con el índice nacional de precios

al consumidor (INPC) (Banxico, 2020). La tasa de interés nominal (bruta) bancaria utilizada fue de 4.22% (Banxico, 2020), y una tasa de inflación de 4.03% (INEGI, 2010).

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE CLIMATIZACIÓN PASIVA

Para la selección de las estrategias de climatización pasiva a evaluar se consideró lo siguiente:

- Requerimientos de climatización de acuerdo con el diagnóstico climático de Ciudad Juárez.
- Costo de implementación en la vivienda de interés social.
- Accesibilidad para el habitante de las viviendas.

De acuerdo con lo anterior, las estrategias de climatización pasiva a evaluar son las siguientes: protección solar en ventanas, uso de doble vidrio, aislamiento adicional en cubierta, aislamiento en muros y todas las estrategias integradas.

DESARROLLO

El clima de Ciudad Juárez es cálido seco extremo, con una temperatura promedio anual de 21.1° C, mínima promedio de 15.7° C y máxima promedio de 26.8° C. El promedio anual de precipitación para Ciudad Juárez es de 243.6 mm; los meses más lluviosos son julio, agosto y septiembre (IMIP, 2016). La humedad relativa anual es de 40.4%, la mínima promedio de 24.5% y la máxima promedio 59.1%.

El análisis indica que en Ciudad Juárez se presentan tres temporadas o periodos climáticos en el transcurso del año: invierno, transición y verano. La duración del invierno es de cuatro meses, desde noviembre hasta febrero y se caracteriza por tener temperaturas frías. El verano, con un clima cálido seco, permanece por cinco meses de mayo a septiembre. La temporada de transición entre el invierno y el verano se presenta en los meses de marzo, abril y octubre y se caracteriza por tener un clima templado.

El diagnóstico bioclimático de Ciudad Juárez nos indica las siguientes estrategias de climatización pasiva (véase figura 1):

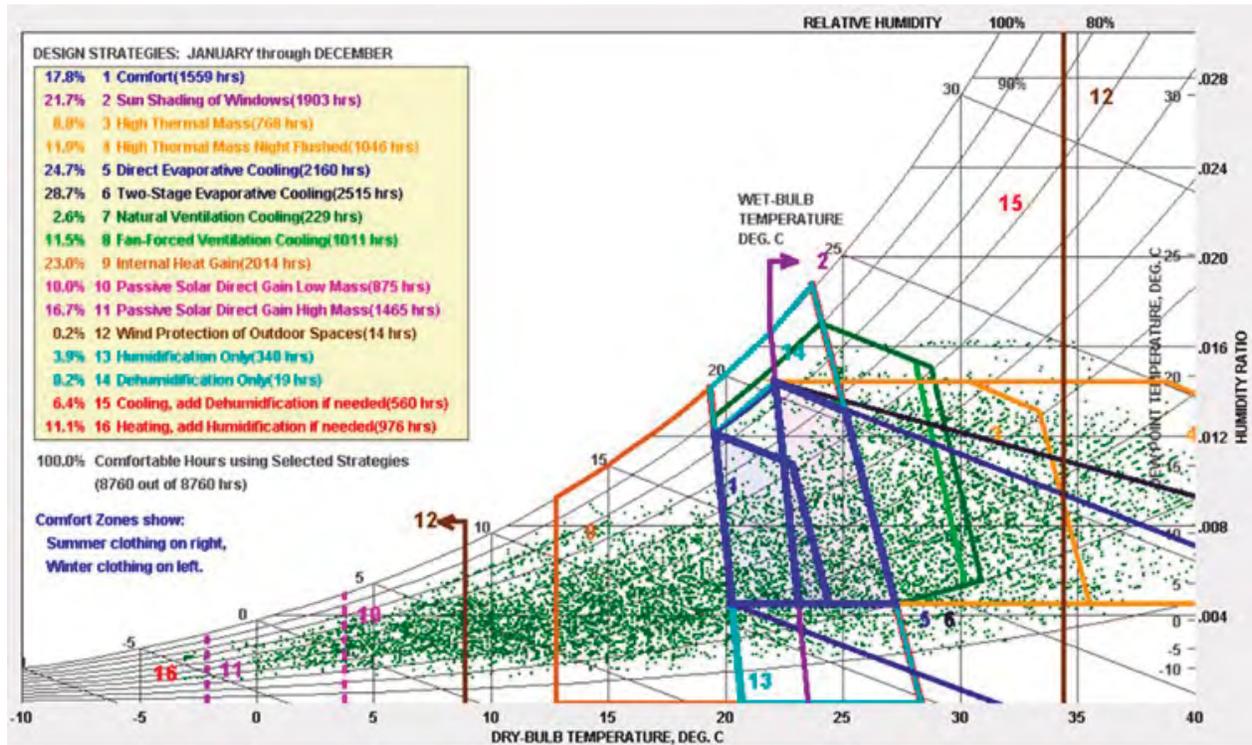
- Protección solar en ventanas, las cuales de acuerdo con la orientación pueden ser aleros o partesoles.
- Uso de materiales con inercia térmica; por ende, el aislamiento térmico selectivo en la envolvente arquitectónica representa una opción viable.
- Ventilación natural selectiva.
- Enfriamiento evaporativo directo.
- Ganancia solar pasiva.
- Humidificación.
- Ganancias internas.

De acuerdo con las características constructivas de la vivienda seleccionada para este proyecto de investigación, con la capacidad económica de los habitantes y que ya se encuentra construida, se definieron los siguientes modelos de estudio, cada uno de ellos con diferente dispositivo o elemento arquitectónico de algunas de las estrategias de climatización pasiva requeridas para el clima de Ciudad Juárez.

Los modelos para evaluar son los siguientes:

- Modelo base (MB). Este modelo es la vivienda de estudio en su estado actual, sin ninguna intervención o mejora adicional.
- Modelo aleros y partesoles (AP). A este modelo se le aplica la estrategia de protección solar en ventanas, mediante la construcción de aleros y partesoles en ventanas con mayor incidencia solar.
- Modelo doble vidrio (DV). En este modelo se le incluye doble vidrio en todas las ventanas de la vivienda, correspondiente a la estrategia de aislamiento selectivo.
- Modelo aislamiento en cubierta (AC). A este modelo se le agrega aislamiento térmico en la cubierta a base de una capa de 2" de poliuretano, correspondiente también a la estrategia de aislamiento selectivo.
- Modelo aislamiento en muros (AM). A este modelo se le agrega aislamiento térmico de muros a base de una capa de 2" de poliure-

FIGURA 1
Carta psicrométrica para Ciudad Juárez



Fuente: ucla (2019).

tano esparado, también de la estrategia de aislamiento selectivo.

- Modelo todas las estrategias (TA). A este modelo se le agregan el conjunto de todos los dispositivos propuestos en las alternativas AP, DV, AC y AM.

RESULTADOS

RESULTADOS DEL CONSUMO ENERGÉTICO POR CLIMATIZACIÓN

En el periodo cálido todas las estrategias de climatización pasiva evaluadas redujeron el consumo de energía eléctrica en comparación con el modelo base. El modelo más eficiente es el TA (todas las estrategias), que alcanza un ahorro energético del 98.80%. Le sigue el modelo AM (asilamiento en muro) con un ahorro de 94.63%. Luego el modelo AC con un ahorro de 64.76%. Le sigue el modelo DV (doble vidrio) con 53.95%.

El modelo con la estrategia más ineficiente fue el AP (aleros y partesoles) con sólo 3.82%. Estos resultados nos demuestran que al integrar todas las estrategias pasivas se alcanzan los mayores ahorros energéticos y, además, nos permite señalar que para el clima cálido seco de Ciudad Juárez es posible en muchas ocasiones prescindir del clima artificial para este tipo de vivienda (véanse tabla 2 y figura 2).

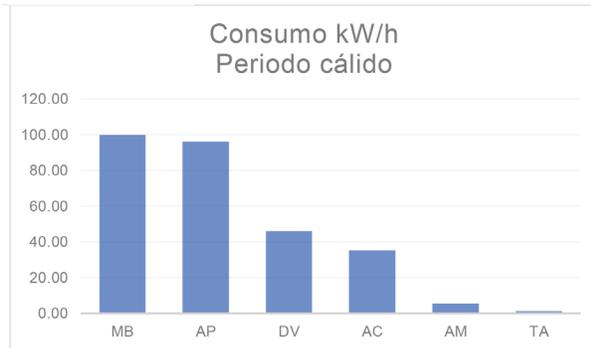
TABLA 2
Consumo energético anual en kW/h

Alternativa	Periodo cálido kW/h	Periodo frío kW/h
MB	671.83	8,889.92
AP	646.16	5,413.45
DV	309.4	2,598.6
AC	236.74	2,396.37
AM	36.08	1,537.5
TA	8.07	1,069.94

Fuente: elaboración autores.

FIGURA 2

Gráfica de consumo energético en el periodo cálido

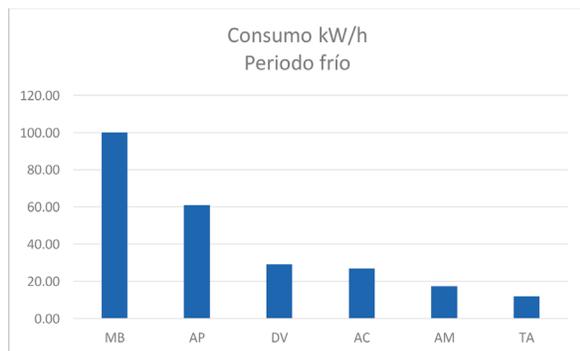


Fuente: elaboración autores con datos de simulación en Design Builder.

En el periodo frío no todas las estrategias de climatización pasiva evaluadas redujeron el consumo de gas en comparación con el modelo base. El modelo más eficiente es el TA (todas las estrategias), que alcanza un ahorro energético del 87.96%. Le sigue el modelo AM (aislamiento en muro) con un ahorro de 82.71%. Luego el modelo AC con un ahorro de 73.04%. Le sigue el modelo DV (doble vidrio) con 70.77%. El modelo con la estrategia más ineficiente fue el AP (aleros y partesoles) con un ahorro de 39.11% (véanse tabla 2 y figura 3).

FIGURA 3

Gráfica de consumo energético en el periodo frío



Fuente: elaboración propia con datos de simulación en Design Builder.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL COSTO-BENEFICIO

Para obtener un rendimiento a futuro, considerando la opción de depositar en el banco el monto total del costo de inversión de la aplicación de las estrategias de climatización pasiva a plazo fijo, con una tasa nominal de 4.22% y considerando una inflación propuesta de 4.03%, se calculó a 30 años tomando en cuenta la tasa de descuento real. En tanto que la tasa de descuento para la inversión y energía eléctrica, respectivamente, y el cálculo de valor futuro, se realizó tomando en cuenta la tasa de descuento real.

El costo total del consumo de energía a 30 años del MB (modelo base), considerando que no hay costo de inversión pues a este modelo no se le aplica ninguna estrategia pasiva, asciende a \$290,984.98 pesos, valor actualizado a moneda constante según el análisis del costo-beneficio (véase tabla 3).

El modelo más eficiente desde el punto de vista económico es el AM (aislamiento en muro), el cual tiene un costo total de inversión y consumo energético de \$122,244.61 pesos. Esto representa un ahorro de \$168,740.37 pesos en comparación con el MB. Si restamos el rendimiento de inversión que podría darnos el banco, se obtiene un ahorro neto de \$196,216.99 pesos (véase tabla 3).

Le sigue el modelo DV (doble vidrio), con un costo de inversión y consumo energético de \$108,687.02 pesos, que representa un ahorro de \$189,973.27 pesos en comparación con el MB. Si restamos el rendimiento de inversión que podría darnos el banco, se obtiene un ahorro neto de \$189,269.23 pesos. Después en tercer lugar de ahorro se encuentra el modelo AC (aislamiento en cubierta), con un costo de inversión y consumo energético de \$108,687.02 pesos, lo que representa un ahorro de \$182,297.96. Si restamos el rendimiento de inversión que podría darnos el banco, se obtiene un ahorro neto de \$180,611.57 (véase tabla 3).

El modelo TA (todas las estrategias) se encuentra en el cuarto lugar de eficiencia en comparación con el MB, pues tiene un costo de inversión y consumo energético de \$122,244.61 pesos, que

TABLA 3
Análisis de costo de ciclo de vida

Escenario		MB	AP	DV	AC	AM	TA
Inversión		\$ -	\$ 2,562	\$ 12,515	\$ 29,977	\$ 44,383	\$ 89,438
Consumo	Anual [MW/h]	9.56176	6.059	2.908	2.5864	1.57359	1.07802
	30 años [MW/h]	286.8528	181.77	87.24	77.592	47.2077	32.34072
Costo	30 años	\$290,985.0	\$184,388.4	\$ 88,496.7	\$ 78,709.7	\$ 47,887.7	\$ 32,806.6
	30 años + inversión	\$290,985.0	\$186,950.7	\$101,011.7	\$108,687.0	\$ 92,271.2	\$ 122,244.6
Ahorro		\$ -	\$104,034.3	\$189,973.3	\$182,298.0	\$198,713.8	\$ 168,740.4
Rendimiento de inversión		\$ -	\$ 144.1	\$ 704.0	\$ 1,686.4	\$ 2,496.8	\$ 5,031.4
Ahorro neto			\$103,890.1	\$189,269.2	\$180,611.6	\$196,217.0	\$ 163,709.0

Nota: todos los costos están en pesos.
Fuente: elaboración autores.

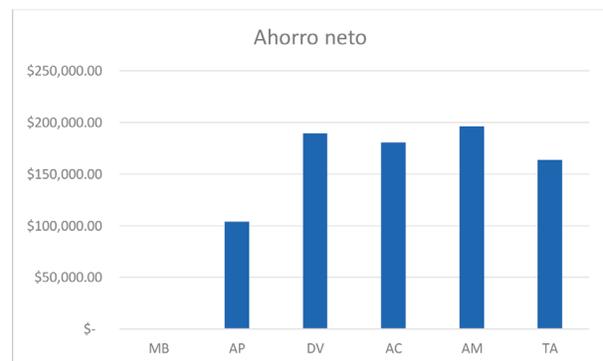
representa un ahorro de \$168,740.37 pesos. Si restamos el rendimiento de inversión que podríamos darnos el banco, se obtiene un ahorro neto de \$163,709.00 (tabla 3).

El modelo AP es el que tiene la menor eficiencia de todos, pues tiene un costo de inversión y consumo energético de \$186,950.72 pesos, que representa un ahorro de \$104,034.26 pesos. Si restamos el rendimiento de inversión que podríamos darnos el banco, se obtiene un ahorro neto de \$103,890.12 pesos (tabla 3).

El modelo base (MB) tiene un costo mayor del 63.36% comparado con la mejor alternativa (AM), esto quiere decir que la vivienda en el estado actual representa una pérdida 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 (figura 4).

FIGURA 4

Gráfica de ahorro económico de cada una de las alternativas



Fuente: elaboración autores.

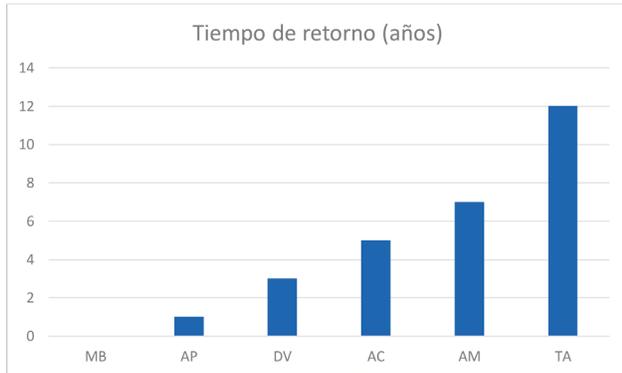
CATEGORIZACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS SEGÚN TIEMPO DE RETORNO

De acuerdo con la inversión para la aplicación de las estrategias pasivas en cada uno de los módulos y considerando el ahorro energético de cada una de ellas a 30 años, se calculó el tiempo de retorno de la inversión.

El módulo con aleros y partesoles (AP) tiene un tiempo de retorno de un año, es el tiempo más corto en comparación con el resto de las estrate-

gias; sin embargo, el ahorro energético a 30 años fue el más ineficiente (figura 5).

FIGURA 5
Tiempo de retorno de inversión



Fuente: elaboración autores.

El módulo de doble vidrio (DV) tiene un tiempo de retorno de tres años y le sigue el aislamiento en cubierta (AC) con cinco años. Ambos módulos no representan la mejor eficiencia en el ahorro energético ni en el costo-beneficio (figura 5).

Los dos módulos con mejor comportamiento en ahorro energético y en el análisis costo-beneficio: todas las estrategias (TA) y aislamiento en muros (AM) tienen un tiempo de retorno de 12 y siete años, respectivamente.

No obstante que en ahorro energético todas las estrategias (AT) fue el más eficiente en comparación con el aislamiento en muros, en términos de ahorro neto y tiempo de retorno no lo es, pues tiene un tiempo de retorno de más de cinco años y un ahorro neto menor en 16% (figura 5).

CONCLUSIONES

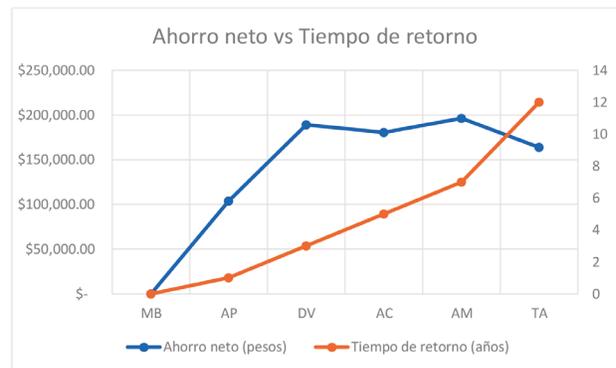
Todas las estrategias de climatización pasiva evaluadas tienen un ahorro energético en ambos periodos climáticos de estudio: cálido y frío. La estrategia más eficiente en ambos periodos fue la de todas las estrategias aplicadas (TA), con ahorros de 98.8 y 87.96% respectivamente.

El análisis de costo-beneficio nos demostró que la estrategia con mayor ahorro neto es el ais-

lamiento en muros (AM), y la de menor ahorro la de aleros y partesoles (AP).

El análisis comparativo del ahorro energético y el tiempo de retorno de la inversión es el modelo de aislamiento en muros, que tiene un ahorro de \$196,216.99 con un tiempo de retorno de siete años (figura 6).

FIGURA 6
Comparativa del ahorro neto versus tiempo de retorno



Fuente: elaboración autores.

Al analizar y evaluar la aplicación de estrategias de climatización pasiva desde el punto de vista del costo-beneficio se abre un panorama económico poco explorado a nivel local, por lo que su consideración sin duda traerá consigo la consolidación de proyectos sostenibles.

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 de campo para evaluar éstas y otras estrategias de climatización pasiva en viviendas de interés social construidas con las características del caso de estudio, y que forman parte de fraccionamientos y unidades habitacionales de gran envergadura en la ciudad, para con ello poder plantear diferentes escenarios posibles para la reconversión de

estas viviendas, para tener un impacto positivo en la economía de las familias que las habitan.

Por último, se propone integrar en los análisis energéticos de los edificios este tipo de estudios con una perspectiva económica, para contribuir en disminuir la pobreza energética de las familias que habitan en este tipo de vivienda en este tipo de clima o en otros lugares de México.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arena, A. (2015). *El análisis de los costos de ciclo de vida* (life cycle costing - LCC). Universidad Tecnológica Nacional.
- Banco de México (Banxico). (s/f). *Tasa de interés bancario e Índice nacional de precios al consumidor*. Bajado de la red el 2/12/2019: <https://www.banxico.org.mx/>
- Boardman, B. (2013). *Fixing fuel poverty: Challenges and solutions*. Earthscan. <https://doi.org/10.4324/9781849774482>
- Brundtland, G. H. (1987). Our Common Future ('The Brundtland Report'). *Report of the World Commission on Environment and Development*. https://doi.org/10.9774/gleaf.978-1-907643-44-6_12
- Comisión Nacional de Vivienda. (2007). *Código de edificación de vivienda*. México.
- DesignBuilder (2010). *DesignBuilder EnergyPlus Simulation Documentation: For DesignBuilder v2.3*. Bajado de la red el 2/12/2013: <http://www.designbuilder.co.uk/helpv2/>
- Esparza L., C. J., Del Pozo, C. E., Gómez A., A., Gómez A., G., y González C., E. (2018). Potential of a wet fabric device as a roof evaporative cooling solution: Mathematical and experimental analysis. *Journal of Building Engineering*, núm. 19, enero, pp. 366-375. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.05.021>
- Fuller, S. K., y Petersen, S. R. (1996). *Life-Cycle costing manual for the Federal Energy Management Program*. U. S. Department of Energy.
- García, R., y Graizbord B. (2016). Caracterización espacial de la pobreza energética en México. Un análisis a escala subnacional. *Economía, Sociedad y Territorio*, XVI(51): 289-337.
- García-Solórzano, L. A., Esparza-López, C. J., y Al-Obaidi, K. M. (2020). Environmental design solutions for existing concrete flat roofs in low-cost housing to improve passive cooling in western Mexico. *Journal of Cleaner Production*, núm. 277. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123992>
- Groat, L., y Wang, D. (2002). *Architectural research methods*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Herrera, L., Ordóñez, G., y Peña, L. (2018). El abandono en la vivienda construida en serie en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 5(6): 101.
- Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (Infonavit). (2020). México. Recuperado de <https://portalmx.infonavit.org.mx/>
- Instituto Municipal de Investigación y Planeación (IMIP). (2016). *Plan de Desarrollo Urbano Sostenible de Ciudad Juárez, Chihuahua*.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2011). *Censo de Población y Vivienda 2010*. Bajado de la red el 2/12/2015: <https://www.inegi.org.mx/>
- Maycotte, E., Sánchez, E., Chávez, J., Moreno, R., y 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.
- Onebuilding.org. (2020). Bajado de la red el 15/01/2020: http://climate.onebuilding.org/wmo_region_4_north_and_central_america/mex_mexico/index.html
- Sánchez, J. (2008). *La vivienda social en México*. México, DF: Sistema Nacional de Creadores de Arte.
- UCLA. (2019). *Climate Consultant 6.0*. Bajado de la red el 14/01/2019: <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php>
- Velázquez, G. (2017). *Reconversión sustentable de edificios*. Ciudad de México: Universidad Iberoamericana, A. C.

