

## Impacto del cambio climático en el confort de la vivienda convencional y bioclimática

### Impact of climate change on the comfort of conventional and bioclimatic dwelling.

---

Antonio de Jesus Vargas Efigenio<sup>1</sup>, David Morillón Galvez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Posgrado de Ingeniería, de la UNAM – México

<sup>2</sup> Instituto de Ingeniería, UNAM – México

<https://www.orcid.org/0000-0002-9178-3092>

#### Correspondencia:

Antonio de Jesus Vargas Efigenio, Posgrado de Ingeniería, de la UNAM – México  
[ajve.90@comunidad.unam.mx](mailto:ajve.90@comunidad.unam.mx)

## RESUMEN

La falta de confort en los edificios, tiene implicaciones en la salud física y mental, así como en la productividad. Una manera de lograr el confort térmico y reducir el uso de energía en sistemas de climatización, es la arquitectura bioclimática, sin embargo, sobre el tema surge la duda sobre las implicaciones ante el cambio climático. En este artículo se analiza el impacto del cambio climático en el confort térmico de la vivienda convencional y bioclimática, mediante una simulación en el programa DesignBuilder, para escenario al 2030, 2050 y 2100, con las especificaciones del IPCC. Como resultado se observa un incremento de 5700 a 7700 horas de disconfort, en el caso de la vivienda convencional, en el 2100, y un incremento de 2200 a 6200 horas en la vivienda bioclimática, en el escenario máximo de emisiones. Se concluye que el cambio climático impacta en la pérdida de confort en las viviendas, en los escenarios de bajas emisiones, siendo considerablemente mayor en el escenario de altas emisiones. La vivienda bioclimática presenta menos horas de disconfort, sin embargo ante el cambio climático, se pierde su eficiencia, por lo que, para lograr la resiliencia, es necesario diseñar la vivienda considerando actualmente, el clima modificado.

**Palabras clave:** Cambio climático, confort térmico, vivienda bioclimática, simulación energética de edificios.

## ABSTRACT

The lack of comfort in buildings has implications on physical and mental health, as well as on productivity. One way to achieve thermal comfort and reduce the use of energy in air conditioning systems is bioclimatic architecture, however, there is doubt about the implications of climate change. This article analyzes the impact of climate change on the thermal comfort of conventional and bioclimatic dwelling, by means of a simulation in the DesignBuilder program, for the 2030, 2050 and 2100 scenarios, with the IPCC specifications. As a result, an increase of 5700 to 7700 hours of discomfort is observed in the case of conventional housing in 2100, and an increase of 2200 to 6200 hours in bioclimatic housing in the maximum emissions scenario. It is concluded that climate change has an impact on the loss of comfort in housing in the low-emissions scenario, being considerably higher in the high-emissions scenario. Bioclimatic housing presents fewer hours of discomfort, however, in the face of climate change, its efficiency is lost; therefore, in order to achieve resilience, it is necessary to design housing considering the modified climate.

**Keywords:** Climate change, thermal comfort, bioclimatic dwelling, building energy simulation.

## I. INTRODUCCIÓN

Los edificios, ya sean viviendas, oficinas, instalaciones productivas o de servicios, requieren condiciones confort, para evitar problemas en la salud física y mental, así como en la productividad (Kaushik et al., 2020).

Entre los factores que proporcionan la calidad del ambiente interior está el confort térmico. La ASHRAE (2017) define al confort térmico como el estado en el que el cuerpo humano se encuentra en satisfacción con el entorno y el esfuerzo fisiológico de regulación de la temperatura corporal es mínimo.

El confort térmico se logra por lo general con el uso de sistemas de climatización, como el aire acondicionado y la calefacción, dependiendo del clima del lugar. La mayoría de los sistemas de climatización requieren electricidad, mientras para la calefacción se emplea el gas. El 40% de los recursos energéticos en todo el mundo son consumidos por el acondicionamiento de los edificios (Yang et al., 2014).

Una manera de lograr al confort térmico y reducir el consumo de energía en climatización, es la arquitectura bioclimática. La arquitectura bioclimática consiste en la acción de proyectar o construir, considerando la interacción de los elementos meteorológicos con el edificio, a fin de que sea esta misma la que regule los intercambios de materia y energía con el ambiente exterior y propicie las condiciones que determinan la sensación de bienestar térmico del humano en interiores (Morillon et al., 2004).

De las estrategias bioclimáticas se tiene la disposición de los edificios (orientación relacionada con el sol y el viento), el movimiento del aire, las ventanas (tamaño, posición, protecciones para el control solar) y la envolvente del edificio (materiales y sistemas constructivos, espesor, acabados, como el color y la textura), entre otros.

El uso de las estrategias bioclimáticas, conforme los requerimientos en cada clima o lugar, permite el edificios o arquitectura bioclimática, como dicho estudio y diseño toman como base el clima actual, llega a ser insuficiente ante el cambio climático. Por lo anterior es necesario estimar prospectivamente las condiciones climática para diversos escenarios. Primero se realiza un análisis de una vivienda convencional y otra bioclimática ante escenarios de cambio climático, para posteriormente, plantear recomendaciones para la resiliencia del diseño bioclimático ante el cambio climático, para garantizar en principio la mitigación y lograr la adaptación de la vivienda.

Se toma en cuenta un escenario optimista y uno escenario pesimista, en un clima templado semi seco como caso de estudio.

### **Fundamento Teórico**

#### *Confort térmico*

El confort térmico es definido por Morillon (2004) como el intervalo de temperaturas y humedades en las cuales el humano presenta el mínimo esfuerzo para disipar el calor que genera. En muchos casos la zona de confort se ha considerado fija, los márgenes de confort, al presentarse como universales, no tomaban en consideración el factor de aclimatación que, como la práctica cotidiana indica, puede modificar considerablemente la ubicación de la zona de confort.

Otras definiciones de confort térmico incluyen la de Givoni (1992), el cual define la zona de confort como el rango de condiciones climáticas a la cual la mayoría de las personas

sentirían confort térmico, ya sea frío o calor. La norma ASHRAE 55 lo define como esa condición mental que expresa la satisfacción con el entorno térmico y que se evalúa mediante una evaluación subjetiva.

Manzano (2015) define al confort térmico humano como una condición mental que expresa la satisfacción con el entorno térmico, de manera que la persona no preferiría un entorno más cálido ni más frío y también como la condición térmica óptima en la que se requiere el menor esfuerzo adicional para mantener el equilibrio térmico del cuerpo humano.

### ***Diseño bioclimático***

Morillon (2004) define a la arquitectura bioclimática como la acción de proyectar o construir, considerando la interacción de los elementos meteorológicos con la construcción, a fin de que sea esta misma la que regule los intercambios de materia y energía con el ambiente exterior y propicie las condiciones que determinan la sensación de bienestar térmico del humano en interiores.

Baghaei et al. (2019) definen al diseño bioclimático como un enfoque de diseño arquitectónico que utiliza energía solar y otros recursos naturales similares para proporcionar confort térmico interior. De manera similar, Manzano (2015) define a la arquitectura bioclimática o sostenible como un método alternativo de construcción de edificios en el cual las condiciones climáticas locales son consideradas y diversas tecnologías pasivas son usadas para mejorar la eficiencia energética.

Es decir el diseño bioclimático es diseñar y construir considerando las condiciones climáticas locales y de esta manera emplear distintas tecnologías y los mismos recursos ambientales para lograr una zona de confort interior, además de mejorar la eficiencia energética.

### ***Escenarios de cambio climático***

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) propuso cuatro escenarios de cambio climático, con base en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para el siglo XXI y fueron llamadas trayectorias de concentración representativas (RCP por sus siglas en inglés). La primera (**optimista**) está basada en un escenario estricto de mitigación y se nombra *RCP 2.6*; la segunda y tercera basadas en escenarios intermedios llamadas *RCP 4.5* y *RCP 6.0*; y la cuarta (**pesimista**) en un escenario con pocas o nulas medidas de mitigación y altas emisiones de GEI llamada *RCP 8.5* (IPCC, 2014).

### ***Antecedentes***

Varias investigaciones de diseño bioclimático consideran los efectos del cambio climático, pero no tienen el enfoque de adaptación y resiliencia. Algunos estudios de los últimos cuatro años se presentan a continuación:

Pajek et al. (2018) evalúan el potencial bioclimático en cinco localidades de Eslovenia. Se simula el comportamiento energético presente y futuro de un edificio residencial bioclimático y uno convencional. El resultado del análisis energético de los edificios para 2050 es que requieren más refrigeración, y el diseño bioclimático actuales se volverá ineficiente. Concluyen que es necesario que los diseñadores estén actualizados con los desafíos actuales y futuros que trae consigo el cambio climático.

Liu et al. (2020) examinan la eficacia dinámica de las estrategias de diseño pasivo para edificios residenciales en Hong Kong, ante el cambio climático futuro. Los resultados muestran que habrá un aumento considerable de las horas de desconfort y en consecuencia el

requerimiento enfriamiento. Además, la efectividad de las estrategias de diseño pasivo cambia en diferentes escenarios de cambio del clima. La ventilación natural seguirá siendo una forma eficiente de enfriar los edificios residenciales, pero su potencial de enfriamiento disminuye significativamente con el tiempo, porque las condiciones exteriores se vuelven más cálidas. También hay una disminución en la efectividad de la protección solar, mientras que el aislamiento de la envolvente conserva su eficiencia.

Verichev et al. (2021) realizaron una investigación para determinar la transmitancia térmica y el espesor de los muros externos, de viviendas unifamiliares, con el fin de establecer el aislamiento térmico óptimo, con una simulación energética, se parte de mantener el consumo de energía de calefacción, en las condiciones de cambio climático, con base en la normativa estatal de la región de Los Ríos de Chile. Primero se consideran diez modelos de la vivienda existente, con diez valores de diferente U. Con Green Building Studio se determina el valor U óptimo para los tres periodos; 2006, 2020-2035 y 2035-2050, en región de estudio se cuenta con 26 estaciones meteorológicas. Después se determina el espesor óptimo para los escenarios 2020-2035 y 2035-2050. Como resultados se obtuvieron mapas de valor U y espesores óptimos para cada región de estudio. Como conclusiones se tiene que el aislamiento permite conservar el desempeño energético, ante el cambio climático, lo cual es importante para evitar aumento de consumo de energía en el futuro.

## II. METODOLOGÍA

La metodología consta de 4 etapas: la primera es la recopilación de la información del clima, de la vivienda tipo o convencional y de los usuarios considerados; la segunda es la elaboración del modelo de vivienda para la simulación; la tercera el estudio del bioclima y definición de estrategias pasivas para la vivienda bioclimática; y la cuarta el análisis de confort, con una simulación térmica, en el programa DesignBuilder para las viviendas convencional y bioclimática, para los escenarios de cambio climático, de las trayectorias optimista (*RCP 2.6*) y pesimista (*RCP 8.5*).

### ***Recopilación de la información***

El programa DesignBuilder es un ambiente gráfico para el cálculo con EnergyPlus. Para realizar las simulaciones, se requiere un archivo del clima, en el formato de EPW (EnergyPlus Weather file por sus siglas en inglés), además de un modelo con la información de la vivienda tipo o convencional y el número de usuarios.

La información del clima se genera con del programa Meteonorm 8, que cuenta con una amplia base de datos de archivos de clima, además permite generar datos en sitios donde no hay estaciones meteorológicas, con interpolaciones entre estaciones cercanas. También se generan en este programa los escenarios de cambio climático. La información de la vivienda necesaria son las características físicas de la vivienda (forma y dimensiones); ubicación geográfica y orientación; proceso constructivo y materiales; y por último información de los usuarios (número de personas, actividad metabólica y horarios de ocupación, de uso de iluminación y equipamiento).

La ubicación de la vivienda convencional, para el estudio o simulación, es Querétaro, México, con clima semiseco templado, la ubicación geográfica, la latitud de 20.6° Norte, la

longitud de  $-100.36^\circ$  Este y una elevación de 1866 metros sobre el nivel del mar. La vivienda tiene su fachada principal al norte, con viviendas colindantes al este y oeste.

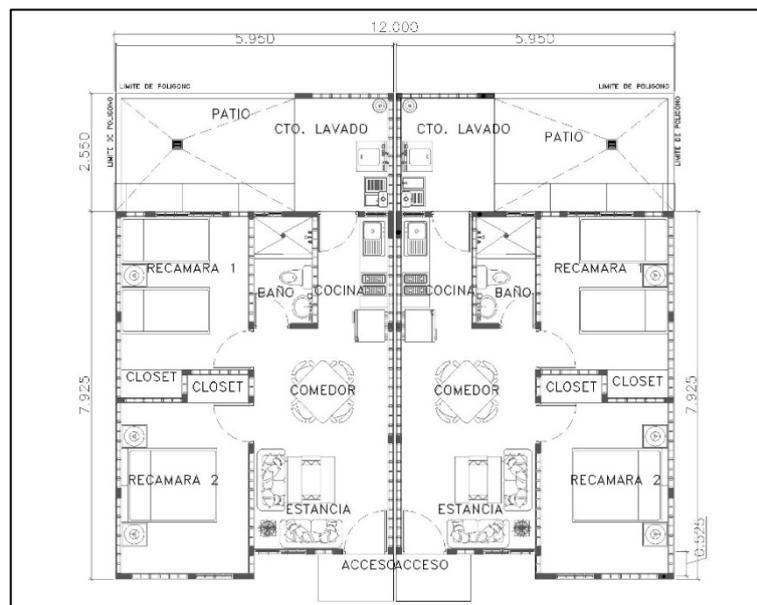
De acuerdo con el reporte anual de vivienda del Infonavit (2020), el 58% de las viviendas adquiridas en el año 2018, fueron de interés social, por lo que la vivienda tipo es de 50 m<sup>2</sup> de construcción, dúplex, como se muestra en la planta arquitectónica de la Figura 1. De acuerdo con Reséndiz y Morillon (2017) el 61.29% de las viviendas en Querétaro tienen como sistema constructivo en los muros de tabique, ladrillo o tabicón y en el techo losa de concreto. Además, el 77% de los muros cuenta con recubrimiento de cemento o concreto y el 55% de los techos tienen algún recubrimiento impermeabilizante. Por lo tanto los sistemas constructivos y materiales de los muros son:

- Capa 1: Mortero (cemento-arena) con una conductividad de 0.72 W/m K y un espesor de 0.025 m.
- Capa 2: Tabique con una conductividad de 0.72 W/m K y un espesor de 0.12 m.
- Capa 3: Yeso con una conductividad de 0.51 W/m K y un espesor de 0.013 m.

Los materiales del techo son los siguientes:

- Capa 1: Impermeabilizante con una conductividad de 1.2 W/m K y un espesor de 0.013 m.
- Capa 2: Asfalto con una conductividad de 1.15 W/m K y un espesor de 0.025 m.
- Capa 3: Losa maciza (concreto) con una conductividad de 2.3 W/m K y un espesor de 0.1 m.
- Capa 4: Yeso con una conductividad de 0.51 W/m K y un espesor de 0.025 m

El coeficiente de transferencia de calor de la envolvente resulta de 2.5 W/m<sup>2</sup> K para los muros, 3.58 W/m<sup>2</sup> K para el techo y 5.8 W/m<sup>2</sup> K para las ventanas.



**Figura 1.** Planta arquitectónica de la vivienda prototipo de interés social

Usuarios de la vivienda, y el equipamiento (Sheinbaum, 2016): Ocupación de 4 personas, que es 0.08 personas por m<sup>2</sup>; agua caliente sanitaria de 2 l/m<sup>2</sup>-día con una eficiencia

del 85%; ganancias internas por equipo en la vivienda 3.6 W/m<sup>2</sup>, equipo en cocina 20 W/m<sup>2</sup> y por iluminación de 3 W/m<sup>2</sup>.

#### *Elaboración del modelo de la vivienda*

En esta etapa se dibuja en el programa DesignBuilder la geometría de la vivienda y se le asignan las condiciones climáticas, características específicas y número de usuarios. El procedimiento del modelado 3D de la vivienda tipo se describe a continuación:

- Se utilizan los planos de la vivienda para dibujar en DesignBuilder la geometría de la vivienda prototipo.

- Se asigna o selecciona la ubicación con coordenadas geográficas (latitud, longitud y altura) de la ubicación de la vivienda, así como la orientación de esta.

- Se carga en el modelo el archivo de clima en formato EPW de la ubicación de la vivienda tipo o convencional.

- Se asigna en el modelo las propiedades térmicas de los materiales y sistemas constructivos para cada muro, piso y techo, así como para las puertas y ventanas. Estos incluyen el coeficiente global de transferencia de calor, la reflectancia, la transmitancia, la emisividad, entre otras.

- Se carga en el modelo la información de las cargas internas y consumo final de energía del equipamiento de la vivienda. Esta información incluye la cantidad de equipos, eficiencia y uso de energía, así como el calor que generan. Se consideran luminarias, sistemas de enfriamiento o calefacción, sistemas de calentamiento de agua, electrodomésticos, etc.

- Se carga en el modelo las características de los usuarios, estas incluyen el número de usuarios, actividad metabólica y los horarios de ocupación de la vivienda, así como horarios de uso de equipos, sistemas e iluminación.

#### *Definición de estrategias pasivas de climatización*

Debido a la orientación y ubicación de la vivienda, la fachada norte prácticamente no recibe radiación solar, por lo que solo se agrega protección solar en la fachada sur, con un alero de 50 cm. Se considera ventilación natural, con un área de apertura de las ventanas del 50%. Para los muros expuestos al exterior se le añade un aislamiento de poliestireno expandido de 10 cm. Con este aislamiento el coeficiente de transferencia de calor de los muros es de 0.35 W/m<sup>2</sup> K. Al techo se le adiciona un aislamiento de poliestireno de 10 cm. El coeficiente de transferencia de calor de la cubierta queda de 1.13 W/m<sup>2</sup> K.

#### *Análisis del confort mediante simulación en DesignBuilder*

Se ejecuta un análisis de confort en la herramienta simulación paramétrica de DesignBuilder, el cual permite incluir como variables los distintos escenarios de cambio climático. El programa realiza el análisis de confort con base en la norma ASHRAE 55 y da como resultado las horas de disconfort que se presentaran dentro de las viviendas convencional y bioclimática.

### **III. RESULTADOS**

Como resultado del análisis de confort se tiene que la vivienda convencional en condiciones climáticas actuales, presenta 5700 horas en disconfort, es decir el 65% de las horas totales de un año. La vivienda bioclimática presenta 2200 horas en disconfort, el 25.4% de las

horas totales de un año. Por lo tanto, en las condiciones climáticas actuales se disminuye aproximadamente un 39% las horas fuera de confort con las estrategias bioclimáticas.

En el escenario optimista para la vivienda convencional, con respecto a las condiciones actuales de clima, las horas en disconfort aumentan a:

- En el 2030: 6050 horas, 3.9%.
- En el 2050: 6150 horas, 5.1%
- En el 2100: 6100 horas, 4.6%

En el escenario optimista para la vivienda bioclimática, con respecto a las condiciones actuales, las horas en disconfort aumentan a:

- En el 2030: 2700 horas, 5.8%.
- En el 2050: 3000 horas, 8.8%
- En el 2100: 2900 horas, 7.8%

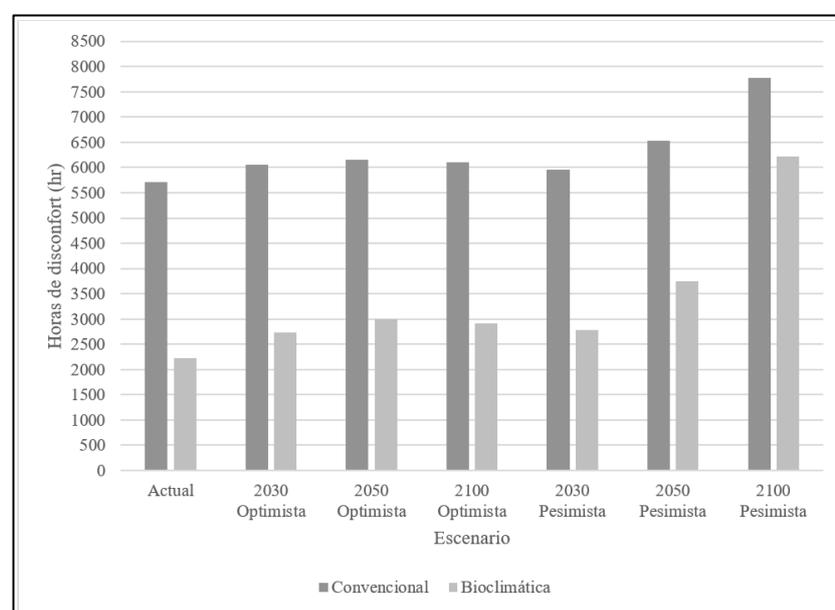
En el escenario pesimista para la vivienda convencional, con respecto a las condiciones de clima actual, las horas en disconfort aumentan a:

- En el 2030: 5900 horas, 2.9%.
- En el 2050: 6500 horas, 9.4%
- En el 2100: 7700 horas, 23.5%

En el escenario pesimista para la vivienda bioclimática, con respecto a las condiciones de clima actual, las horas en disconfort aumentan a:

- En el 2030: 2770 horas, 6.3%.
- En el 2050: 3700 horas, 17.5%
- En el 2100: 6200 horas, 45.6%

Para un escenario optimista, las horas de disconfort aumentan un máximo de 8%. Mientras, para un escenario pesimista, las horas de disconfort aumentan considerablemente, las horas en disconfort llegan a ser del 88% del año en la vivienda convencional y el 70% del año en la bioclimática. En la Figura 2 se presenta una gráfica de las horas en disconfort en un año, para la vivienda convencional y bioclimática en los diversos escenarios.



**Figura 2.** Horas en disconfort en un año en las viviendas convencional y bioclimática

Es importante señalar que ante un escenario optimista de cambio climático, en la vivienda bioclimática aumentan 8% las horas de discomfort, por lo que se sugiere que es resiliente ante este escenario. No obstante, ante un escenario pesimista, en la vivienda bioclimática aumentan 45% las horas de discomfort, por lo que se afirma que no es resiliente ante este distinto escenario.

#### IV. CONCLUSIÓN

Se realiza la simulación en DesignBuilder de una vivienda convencional y una vivienda bioclimática de interés social, en un clima templado semi seco, para determinar el impacto del cambio climático en el confort térmico. El sistema constructivo de la vivienda convencional consta de muro de tabiques y techo de losa maciza de concreto. La vivienda bioclimática cuenta con protección solar en la ventana de la fachada sur, ventilación natural y aislamiento térmico. Los escenarios de cambio climático son uno optimista y uno pesimista, basados en las trayectorias representativas del IPCC y para los años 2030, 2050 y 2100.

En una vivienda convencional las horas de discomfort se presentan el 65% anualmente, aumentando un 5% en un escenario optimista y 24% en un escenario pesimista.

En una vivienda bioclimática las horas de discomfort se presentan el 25% anualmente, incrementando un 8% para un escenario optimista, por lo que se considera que es resiliente ante este escenario. Sin embargo, para un escenario pesimista, las horas de discomfort incrementan 45% por lo que se considera que no es resiliente ante este escenario.

Por lo tanto, bajo las mencionadas condiciones climatológicas y de la vivienda, las competencias bioclimáticas pierden su eficiencia ante las adversidades del tiempo, y son susceptibles a escenarios pesimistas respecto de los cambios ambientales. Es importante tomar en cuenta estos escenarios en el diseño e implementación de estrategias bioclimáticas, así como realizar este tipo de análisis para tener herramientas de decisión en los ámbitos del diseño urbano, proyecto arquitectónico, equipamiento tecnológico, instalaciones y aprovechamiento de energía eléctrica con la finalidad de implementar estrategias respecto al agrupamiento de edificaciones, espacios libres exteriores, vegetación, y más, inclusive en el manejo adecuado de fuentes lumínicas y térmicas.

#### V. REFERENCIAS

- ASHRAE. (2017). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2017*. Atlanta.
- ASHRAE. (2017). *2017 ASHRAE Handbook. Fundamentals*. Atlanta.
- Baghaei Daemei, A., Rahman Eghbali, S., & Mehrinejad Khotbehsara, E. (2019). Bioclimatic design strategies: A guideline to enhance human thermal comfort in Cfa climate zones. *Journal of Building Engineering*, 100758.
- Givoni, B. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and buildings*, 11-23.
- INFONAVIT. (2020). *Reporte Anual de Vivienda 2020*. México.
- 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*. (R. Pachauri, Meyer, L.A., & Equipo principal de redacción, Edits.) Ginebra, Suiza.

- Kaushik, A., Arif, M., Tumula, P., & Ebohon, O. J. (2020). Effect of thermal comfort on occupant productivity in office buildings: Response surface analysis. *Building and Environment*, 107021.
- Liu, S., Ting Kwok, Y., Ka-Lun Lau, K., Ouyang, W., & Ng, E. (2020). Effectiveness of passive design strategies in responding to future climate change for residential buildings in hot and humid Hong Kong. *Energy & Buildings*, 110469.
- Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Sabio-Ortega, A., & García-Cruz, A. (2015). Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 736-755.
- Morillón-Gálvez, D., Saldaña-Flores, R. & Tejeda-Martinez, A. (2004). Human bioclimatic atlas for México. *Solar Energy*, 781-792.
- Pajek, L., & Košir, M. (2018). Implications of present and upcoming changes in bioclimatic potential for energy performance of residential buildings. *Building and Environment*, 157-172.
- Reséndiz-Pacheco, O., & Morillón-Gálvez, D. (2017). Materiales y sistemas constructivos utilizados en la vivienda. La Paz, BCS: Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Sheinbaum-Pardo, C., & Martínez-Montejo, S. (2016). The impact of energy efficiency standards on residential electricity consumption in Mexico. *Energy for Sustainable Development*, 50-61
- Verichev, K., Zamorano, M., Fuentes-Sepúlveda, A., Cárdenas, N., & Carpio, M. (2021). Adaptation and mitigation to climate change of envelope wall thermal insulation of residential buildings in a temperate oceanic climate. *Energy & Buildings*, 110719.
- Yang, L., Yan, H., & Lam, J. C. (2014). Thermal comfort and building energy consumption implications - A review. *Applied Energy*(115), 164 - 173.