

DISEÑO BIOCLIMÁTICO DE VIVIENDA MEDIA EN LA ÉPOCA DEL AUGUE PETROLERO EN TAMPICO, MÉXICO (1912-1930)¹

BIOCLIMATIC DESIGN OF MIDDLE HOUSING IN THE TIMES OF THE OIL BOOM IN TAMPICO, MEXICO (1912-1930)

PROJETO BIOCLIMÁTICO DE MORADIAS MÉDIAS DURANTE O BOOM DO PETRÓLEO EM TAMPICO, MÉXICO (1912-1930)

Angelica Orozco-Cejudo

Maestría en Diseño Arquitectónico
Estudiante de Doctorado, Docente de horario libre, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Universidad Autónoma de Tamaulipas, Tampico, México
<https://orcid.org/0009-0001-4070-9351>
aorozco@docentes.uat.edu.mx

Mireya Alicia Rosas-Lusett

Doctora en Arquitectura
Investigadora y Docente tiempo completo, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Universidad Autónoma de Tamaulipas, Tampico, México
<https://orcid.org/0000-0002-6050-4740>
mrosas@docentes.uat.edu.mx

María López deAsiain-Alberich

Doctora en Arquitectura
Profesora Contratada Doctor, Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción, Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Universidad de Sevilla, Sevilla, España
<https://orcid.org/0000-0001-9422-394X>
mlasiain@us.es

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo determinar estrategias bioclimáticas adecuadas para el clima de Tampico y comprobar si fueron aplicadas en la vivienda media construida en la época del auge petrolero en la ciudad. Mediante la caracterización climática de Tampico y la revisión de recomendaciones realizadas por autores de arquitectura bioclimática, se establecen las estrategias aplicables al clima local. Se realiza un catálogo de viviendas de la época con características bioclimáticas, obteniéndose acceso a cinco. Mediante entrevistas a los usuarios, se buscó conocer su percepción sobre el confort interior y para profundizar, se estudiaron exhaustivamente las viviendas en cuanto a la existencia o no de estrategias bioclimáticas. Se concluye que dichas viviendas sí cuentan con estrategias bioclimáticas adecuadas para el clima y que eran las mismas que las utilizadas en las viviendas de la época de referencia (auge petrolero) y que han ayudado en la mejora del confort interior de los edificios. Utilizarlas actualmente ayudará a minorar el calentamiento interior, el uso excesivo de energías no renovables y los altos costos por consumo energético.

Palabras clave

arquitectura bioclimática, clima cálido-húmedo, vivienda, sistemas pasivos, flujo de viento.

ABSTRACT

This paper aims to determine bioclimatic strategies suitable for the climate of Tampico and to confirm whether they were applied in the middle housing built during the oil boom in the city. The strategies applicable to the local climate are established using a climatic characterization of Tampico and a review of the recommendations by bioclimatic architecture authors. A housing catalog of the time with bioclimatic characteristics is made, obtaining access to five. Users are interviewed to know their perception of indoor comfort, studying the housing in depth regarding the existence or not of bioclimatic strategies, concluding that they have climate-appropriate bioclimatic strategies, which are the same as those used in the houses of the time (oil boom), and that have helped to improve the indoor comfort of the buildings. Using them today will help reduce indoor heating, the excessive use of non-renewable energies, and the high energy consumption costs.

Keywords

bioclimatic architecture, hot-humid climate, housing, passive systems, wind flow.

RESUMO

Este artigo tem por objetivo determinar estratégias bioclimáticas adequadas ao clima de Tampico e verificar se elas foram aplicadas nas habitações de médio porte construídas durante o boom do petróleo na cidade. Por meio da caracterização climática de Tampico e da revisão das recomendações feitas por autores de arquitetura bioclimática, são estabelecidas as estratégias aplicáveis ao clima local. Elaborou-se um catálogo de residências da época com características bioclimáticas, obtendo-se acesso a cinco. Por meio de entrevistas com os usuários, buscou-se conhecer sua percepção em relação ao conforto interior e, para aprofundar o estudo das habitações, estudou-se exaustivamente a existência ou não de estratégias bioclimáticas. Conclui-se que essas residências possuem estratégias bioclimáticas adequadas ao clima, que são as mesmas utilizadas nas residências do período de referência (boom do petróleo) e que ajudaram a melhorar o conforto interno dos edifícios. Usá-las na atualidade ajudará a reduzir o aquecimento interno, o uso excessivo de energia não renovável e os altos custos decorrentes do consumo de energia.

Palavras-chave:

arquitectura bioclimática, clima quente-úmido, habitação, sistemas passivos, fluxo de vento.

INTRODUCCIÓN

A principios del siglo XX, la ciudad mexicana de Tampico vivía una fuerte actividad petrolera que provocó que personas de todo el mundo llegaran a la zona con necesidad de vivienda (Bartorila & Loredó, 2017). Estas construcciones importadas sumaban propuestas de diseño adaptadas al clima y condiciones del entorno, aun cuando habían sido pensadas para situaciones climáticas diversas (Espuna-Mújica, 2011). En este periodo histórico se pudo observar que la vivienda contaba con sistemas pasivos que podían ser reutilizados y extrapolados para el diseño de la vivienda actual en Tampico, cuyo clima tiene características semejantes a las de la época. Este hecho constituye un hallazgo que añade una nueva dimensión patrimonial vinculada al comportamiento bioclimático de edificaciones que tienen un valor intrínseco como patrimonio cultural (Domínguez Ruiz & Rey Pérez, 2019).

Rubio-Bellido et al. (2015), con su estudio sobre viviendas del casco antiguo de Cádiz en España, y Beltrán-Fernández et al. (2017), con su análisis sobre la casa Jacobs I de Frank Lloyd Wright, entre otros, han identificado el aporte bioclimático que la vivienda histórica ofrece en la actualidad. Los resultados evidencian que, a pesar del calentamiento global y de haber sido construidas cuando no había recursos para la obtención del confort, siguen funcionando para los climas en los que se ubican.

Actualmente, es común observar que se ha dejado de tomar en cuenta el clima en el diseño arquitectónico de viviendas (Van Hoof et al., 2010). En este caso, Tampico cuenta con un clima cálido-húmedo (Cruz-Rico et al., 2015), temperaturas y humedades relativas con promedios de 25.7°C y 75% respectivamente. Esta situación, aunada al incremento de temperaturas por el calentamiento global (Fraser et al., 2018), ha llevado a los habitantes del lugar al uso generalizado de equipos de aire acondicionado (Morgan & Gómez-Azpeitia, 2018) para lograr el confort. En este sentido, autores como De Dear (2004), Olgay (2004) y Givoni (1992), han afirmado que, si se tomaran en cuenta las condiciones climáticas mediante estrategias de diseño pasivo en los edificios, se podría alcanzar confort higrotérmico al interior y exterior de estos.

En relación con esto último, Olgay (2004) y Givoni (1992), pioneros consolidados de la arquitectura bioclimática, han desarrollado métodos e instrumentos para identificar las estrategias adecuadas para el diseño del espacio urbano e interior de un edificio, respectivamente, según las condiciones climáticas del lugar. Por ello, la presente investigación se basa en estos dos métodos consolidados, complementarios y paralelos, para el análisis de los casos de estudio en Tampico, adecuando las fases desarrolladas por los autores al desarrollo de la investigación.

En cuanto al confort, según lo que señala Monroy (2001), para que un edificio o espacio público sea cómodo todo el año, sería suficiente que se comporte adecuadamente en un día típico de invierno y uno de verano. Se ha tomado esta referencia como parte de las hipótesis de investigación, definiendo las condiciones extremas de verano e invierno para Tampico y extrapolando al resto del año los estadios intermedios, dada la escasa variación anual de las condiciones climáticas locales.

Según estudios de adaptación bioclimática, las estrategias más efectivas para un clima cálido-húmedo, como es el caso de Tampico, incluyen la protección solar y ventilación natural (Ahmed et al., 2021). La protección solar es crucial para reducir la carga de enfriamiento en los espacios interiores, mientras que la ventilación natural, como lo investigado por Velasco-Roldán (2011), mejora el movimiento del aire y contribuye al confort higrotérmico.

Por otra parte, es importante considerar tanto la eficacia de estos sistemas en el confort interior y exterior, como la reducción de la temperatura interior y el ahorro de energía, como ha sido demostrado por Hu et al. (2023) y Givoni (2011). En el estudio de Elaouzy y El Fadar (2023) se profundiza en las estrategias de adaptación bioclimática para climas cálido-húmedos, lo que proporciona información valiosa sobre cómo estas estrategias pueden aplicarse de manera efectiva en contextos como Tampico. Por otro lado, Serra Florensa y Coch Roura (1995) ofrecen una visión detallada sobre la utilización de sistemas de ventilación natural como parte de los sistemas de control ambiental o sistemas pasivos, lo que señala los límites y el confort higrotérmico de dichos sistemas.

De manera adicional, Rosas-Lusett et al. (2020) llevó a cabo un estudio en el que destaca estrategias de diseño urbano para lograr un confort higrotérmico en espacios exteriores. Entre las recomendaciones para favorecer un flujo eficaz del viento hacia el interior se encuentran la apropiada integración de la vegetación y su relación con las fachadas, así como la separación entre viviendas, entre otras sugerencias. Estas estrategias son fundamentales para identificar y estudiar las estrategias bioclimáticas adecuadas para el lugar, adaptadas tanto al clima y las condiciones físicas, de acuerdo con su geografía, orografía y morfología urbana (Manzano-Agugliaro et al., 2015), así como también a la realidad cultural y los modos de vida locales de la ciudad de Tampico.

Estas investigaciones se enmarcan en la conexión entre el desarrollo de la vida y las condiciones climáticas de un lugar para el diseño de viviendas, tal como lo destacan autores como Gaytan-Ortiz (2019) y Szokolay (1986). Es fundamental considerar estos enfoques para garantizar un diseño de vivienda que se adapte

de manera efectiva a las condiciones climáticas y a los condicionantes histórico-antropológicos del contexto cultural (López de Asiain, 2001). Por lo tanto, y dado que el objetivo de esta investigación es la identificación y estudio de las estrategias bioclimáticas y sistemas pasivos utilizados en la vivienda media del auge petrolero en Tampico, estas serán identificadas y los elementos y/o sistemas serán reconocidos para cada una de las viviendas, analizando de esta manera su funcionamiento.

METODOLOGÍA

La metodología para identificar los sistemas y estrategias bioclimáticas en las viviendas del auge petrolero en Tampico se basó en una extensa investigación de campo. En primer lugar, caracterización climática de Tampico se realizó en función de su clima cálido-húmedo, con dos periodos climáticos claramente distinguibles (meses más cálidos y meses menos cálidos), utilizando información del SMN (1981-2010) en archivo EPW. A través de un modelo adaptativo psico-fisiológico (Auliciems, 1981), se calculó la temperatura neutra (T_n) y los límites de la zona de confort correspondiente (Szokolay, 2014). Posteriormente, mediante las gráficas psicrométricas de Givoni (interiores) y Olgay (exteriores) se identificaron las estrategias recomendadas para el tipo de clima en dos aspectos: características del conjunto y diseño arquitectónico pasivo de la vivienda. Este análisis se llevó a cabo utilizando programas como Photoshop, WRPlot, Climate-consultant y 2D-Sun Path de Andrew Marsh.

La selección de la muestra para esta investigación no fue probabilística, pues dependía de la obtención de permisos de acceso. La zona de estudio abarcó las colonias Águila y Altavista, donde se realizó un catálogo de veintisiete viviendas de la época del auge petrolero, de las cuales cinco se identificaron como casos de estudio por constituir potencialmente un diseño bioclimático. Estas viviendas se analizaron en profundidad mediante levantamientos planimétricos, fotografías y entrevistas a los usuarios para conocer el origen, las actividades diarias de los ocupantes y la percepción personal sobre el confort térmico, además de determinar el estado actual en relación con el original.

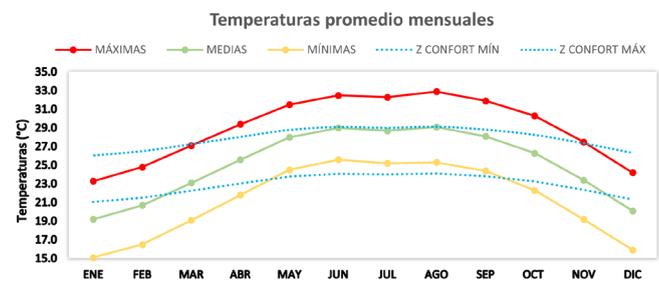
Toda esta información se integró en una ficha tipológica para identificar las estrategias y sistemas bioclimáticos utilizados, corroborando su buen funcionamiento frente al clima de la ciudad. Además, se realizó una revisión de estrategias observando que efectivamente eran utilizadas en el diseño de la vivienda media construida en la época del auge petrolero, identificando los sistemas pasivos utilizados, definiéndolos y caracterizándolos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA Y ZONA DE CONFORT

Temperatura

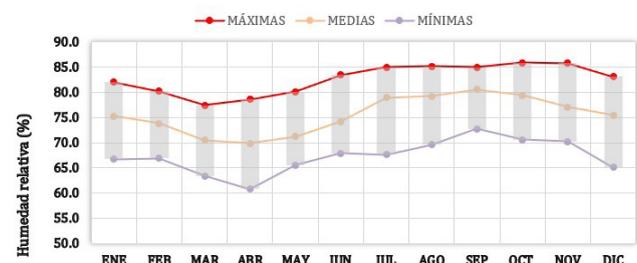
La temperatura media en Tampico es de 25.7°C. En la Gráfica 1 se observa que los meses más cálidos van de marzo a noviembre, con temperaturas promedio de entre 23 y 30 °C. Además, la oscilación térmica en los dos periodos es de entre 7 y 8°C y sus máximas promedio de hasta 33°C. Los meses menos cálidos de diciembre a febrero con temperaturas de 20 a 15°C.



Gráfica 1. Temperaturas mensuales. Fuente: Elaboración de los autores a partir de datos SMN, Estación climatológica Tampico, CONAGUA, 1981-2010.

Humedad relativa

La ciudad de Tampico, México, se caracteriza por su entorno rodeado de vasos lacustres y la proximidad con la costa del Golfo de México. Esta ubicación geográfica influye significativamente en la humedad relativa del área, que se ve afectada por la condensación del vapor de agua y las altas temperaturas. Según la Gráfica 2, se observa que los meses de mayor humedad se extienden de junio a noviembre, alcanzando un 85% de humedad relativa. Por otro lado, los meses con menor humedad comprenden el período de diciembre a mayo, con valores de hasta 60%. Es interesante destacar que los meses de febrero, marzo y abril se caracterizan por una menor humedad que coincide con una mayor velocidad del viento, mientras que los meses con mayor humedad, de julio a noviembre, coinciden con una menor velocidad del viento.



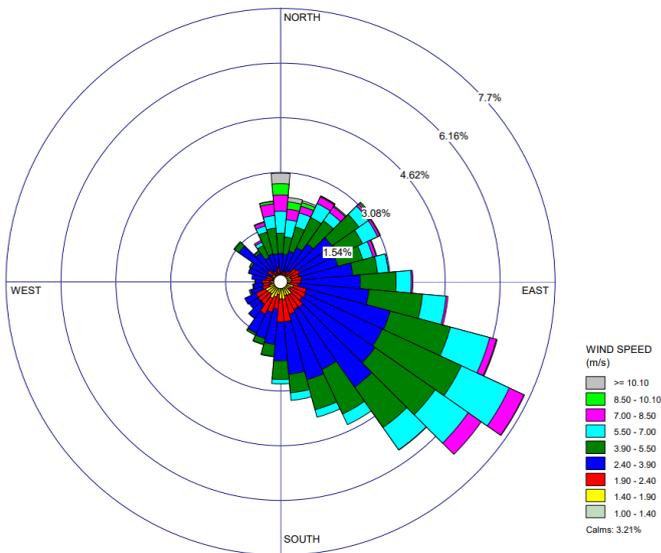
Gráfica 2. Humedades relativas mensuales. Fuente: Elaboración de los autores a partir de datos SMN, Estación climatológica Tampico, CONAGUA, 1981-2010.

Radiación solar

En Tampico, la radiación solar es mayor durante los meses más cálidos, con mayor número de días y horas soleadas. Durante el solsticio de verano, el ángulo más recto a las 12 pm solar alcanza los 83.75°, lo que indica una exposición más directa al sol durante esta época del año.

Vientos

La velocidad promedio del viento en Tampico es de alrededor de 4.17 m/s, siendo los meses de mayor velocidad en febrero, marzo y abril. Por el contrario, el mes de menor velocidad es en agosto. La dirección predominante del viento generalmente es del sureste con cambio estacionales durante el año. De este modo, en junio, julio y agosto se observa mayor presencia de vientos del sureste con menor velocidad (Gráfica 3), mientras que en diciembre y enero predominan los vientos del norte y en marzo, abril y mayo, la dirección predominante es del este y con mayor velocidad.



Gráfica 3. Rosa de los vientos de Tampico, Tamaulipas, año 2020.
 Fuente: Elaboración de los autores a partir de datos SMN, Estación climatológica Tampico, CONAGUA, 2020

Geometría solar

En Tampico, se observa un patrón claro en la duración de los días a lo largo del año, con el día más largo en junio (13 horas y 30 minutos) y el más corto en diciembre (10 horas y 46 minutos). En la Figura 1 se observa la relación del sol con las temperaturas diarias por mes.

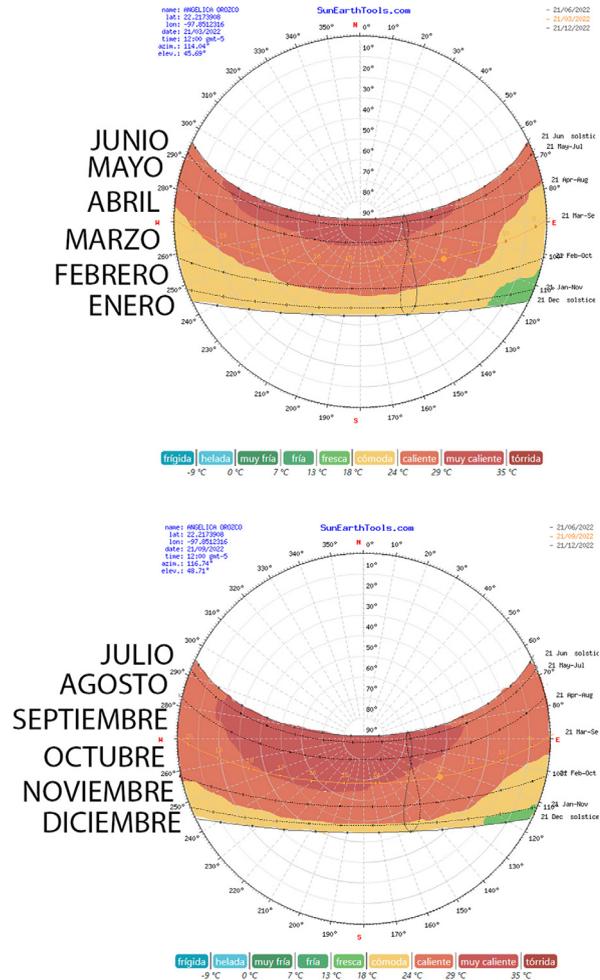


Figura 1. Gráfica solar estereográfica + Temperatura horaria para los meses del año en Tampico. Fuente: Elaboración de los autores con datos de la estación meteorológica de Tampico, SMN.

Zonas de confort y temperatura neutra

El análisis distingue dos periodos climáticos importantes en Tampico: los meses menos cálidos (diciembre a febrero) y los meses más cálidos (marzo a noviembre). Por su parte, a través de un modelo adaptativo, se determinan las zonas de confort.

En otro ámbito, la temperatura neutra (T_n) se calcula mediante un modelo psico-fisiológico de percepción térmica propuesto por Auliciems (1981), cuya la fórmula es la siguiente: $T_n = (T_m * 0.31) + 17.60$, donde (T_m) es la temperatura media de cada mes (T_m) obtenida de la caracterización climática. La zona de confort se establece con base en los límites propuestos por Szokolay, con aceptación del 90%, +2.5°C límite superior y -2.5 límite inferior.

DETERMINACIÓN DE ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA LA CIUDAD DE TAMPICO SEGÚN GIVONI Y OLGYAY

A partir de la caracterización climática, se obtuvieron los datos de un día típico de cada mes del año 2020, utilizando como guía las temperaturas medias máximas y mínimas. Estos datos fueron graficados en los diagramas bioclimáticos de Iovoni (interior) y de Olgay (exterior), de acuerdo con lo señalado en Ribeiro et al. (2015).

En el diagrama de Givoni (Figura 2), se puede observar que en los horarios fuera de las zonas de confort para los meses de diciembre, enero y febrero, se recomienda calefacción solar e inercia en invierno. Por su parte, los meses de marzo, abril, septiembre, octubre y noviembre se sitúan dentro de la zona de confort o en la zona cuya estrategia recomendada es la ventilación. Los horarios de mayo, junio, julio y agosto están en su mayoría fuera de la zona de confort y dentro de la estrategia de aire acondicionado.

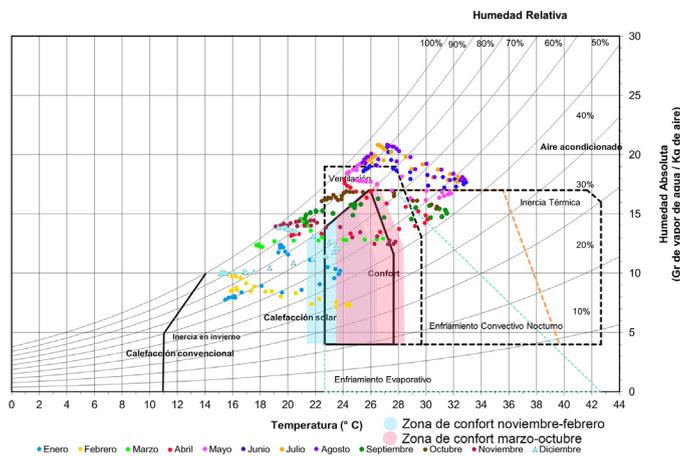


Figura 2. Diagrama Psicrométrico de Givoni. Fuente: Elaboración de los autores.

En cuanto a la gráfica de Olgay (Figura 3), se observa que la mayor parte de los meses del año se ubican dentro de la zona de la estrategia de ventilación lo que sugiere que el movimiento del aire es una estrategia efectiva en estos meses. Sin embargo, el mes de agosto supera los límites hacia el calor, lo que indica un menor efecto de la estrategia de ventilación y la necesidad de considerar otras estrategias, como la radiación, para contrarrestar el exceso de calor en este mes con menor velocidad de viento.

La estrategia bioclimática más destacada tanto en interior como exterior es el movimiento del aire. Además, se indica la necesidad de tener en cuenta la radiación solar para los meses menos cálidos, ya que el sol regula los altos niveles de humedad en interiores.

Este análisis de estrategias se complementa con la propuesta de Olgay (2004) para el diseño arquitectónico en regiones cálido-húmedas, enfocándose en dos ámbitos fundamentales: las características del conjunto y

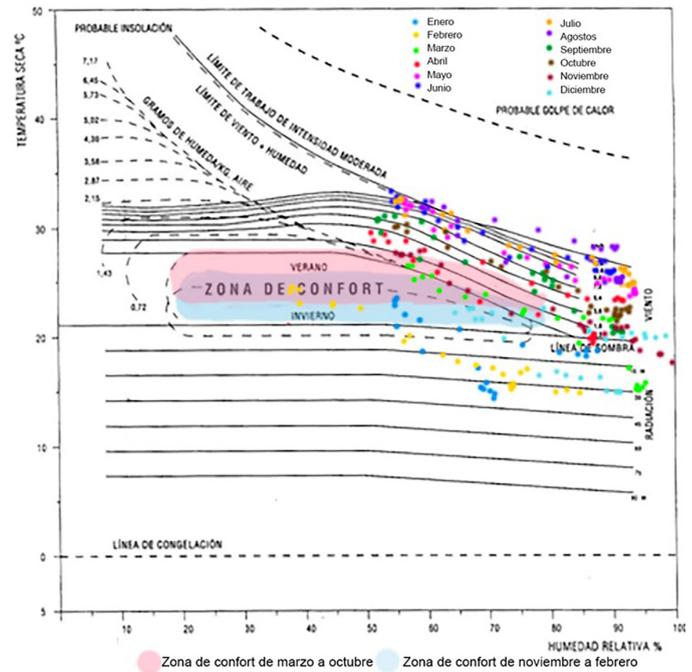


Figura 3. Gráfica de Olgay. Fuente: Elaboración de los autores.

entorno inmediato y el diseño arquitectónico pasivo de la vivienda.

Características del conjunto

- Emplazamientos en altitudes elevadas para capturar la mayor cantidad de viento.
- Viviendas separadas de las colindancias para aprovechar los movimientos del aire y dirigirlo más fácilmente al interior.
- Árboles de ramas altas ubicados hacia el oeste para proporcionar sombreado sin obstaculizar el movimiento del aire.

Diseño arquitectónico pasivo de la vivienda

- Priorización del flujo de aire hacia el interior mediante espacios interiores conectados entre sí.
- Forma del edificio ligeramente alargada en el eje este-oeste, en forma de L, U o con patio central para favorecer el paso de los vientos y el movimiento de aire al interior. Áticos, plafones, espacio entre terreno natural y piso interior, evitarán que el calor se adentre al espacio habitable. Estos espacios deberán ser ventilados en verano y controlar su ventilación en invierno. Alturas interiores mayores a 2.60 mts para que el aire caliente suba y no permanezca a la altura de los usuarios.
- Combinaciones de tamaño y ubicación en aberturas y ventanas que permitan favorecer la ventilación cruzada, conservar o empujar el viento para obtener

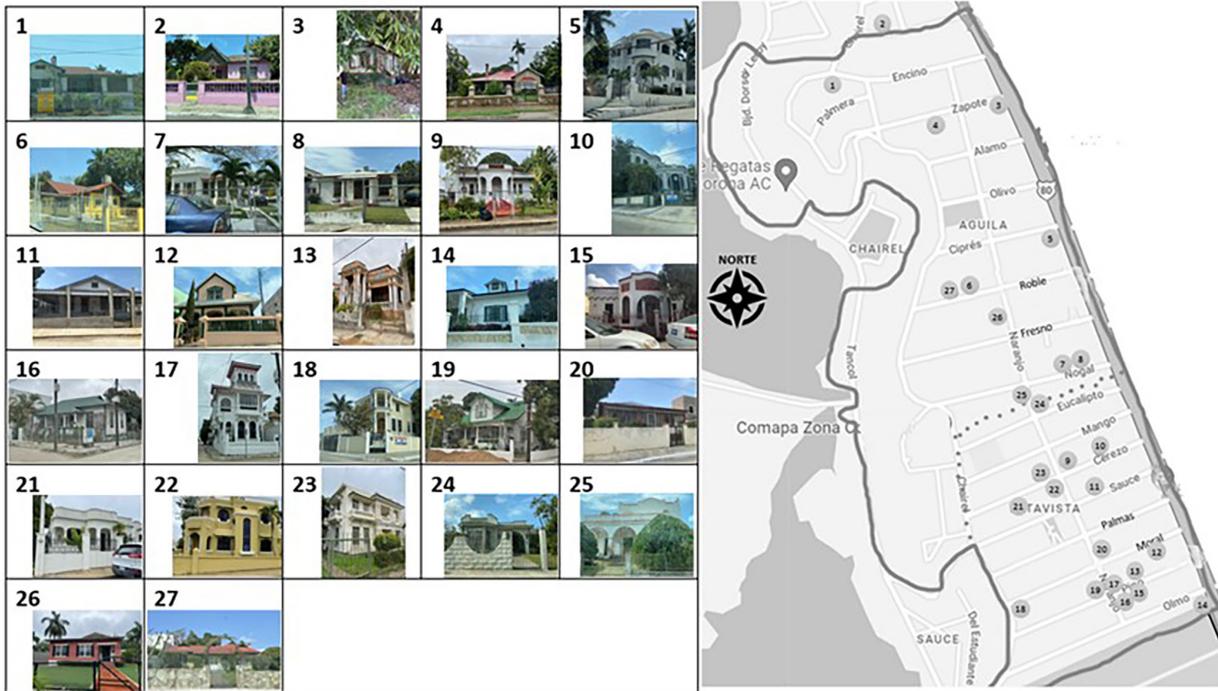


Figura 4. Catálogo total de viviendas seleccionadas en colonias Águila y Altavista. Fuente: Elaboración de los autores

mejores resultados con la ventilación que es necesaria la mayor parte del año. Celosías, persianas, mallas, para disminuir la radiación y permitir que el aire fluya dentro de los espacios.

- Elementos de protección solar hacia este y oeste. Aleros o extensiones de losa que ayuden al sombreado. Pórticos, terrazas o balcones que alejen el sol de la construcción y permitan aprovechar el viento de la zona.
- La orientación más adecuada es norte-sur.
- Colores claros que aseguren la reflectancia en interior y exterior.

con todos los criterios de selección. Las viviendas que constituyen la muestra de casos de estudio de la investigación son las siguientes (Figura 5):

CASOS DE ESTUDIO Y ANÁLISIS

Para la selección de las viviendas de estudio, se realizó un catálogo de veintisiete viviendas utilizando el siguiente criterio (Figura 4):

1. Viviendas construidas en la época de estudio (1912-1930).
2. Viviendas habitadas en la actualidad.
3. Viviendas en muy buenas condiciones.
4. Viviendas que no han sufrido modificaciones significativas.
5. Viviendas que son ventiladas de naturalmente en la mayoría de sus espacios.

Se solicitó el acceso a las veintisiete viviendas y solo se obtuvo el permiso para cinco, confirmando que cumplen

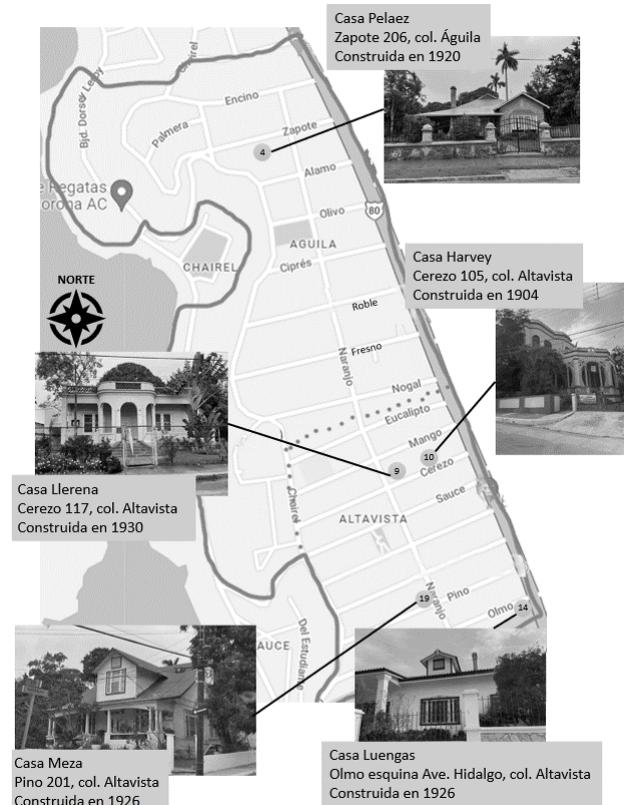


Figura 5. Ubicación de viviendas caso de estudio. Fuente: Elaboración de los autores

El detalle de las viviendas se explica a continuación:

1. Casa Harvey, ubicada en calle Cerezo 105, col. Altavista. Construida en 1914 y restaurada en 2004, ha tenido varios dueños. Habitada por una pareja joven con un niño (Figura 6).

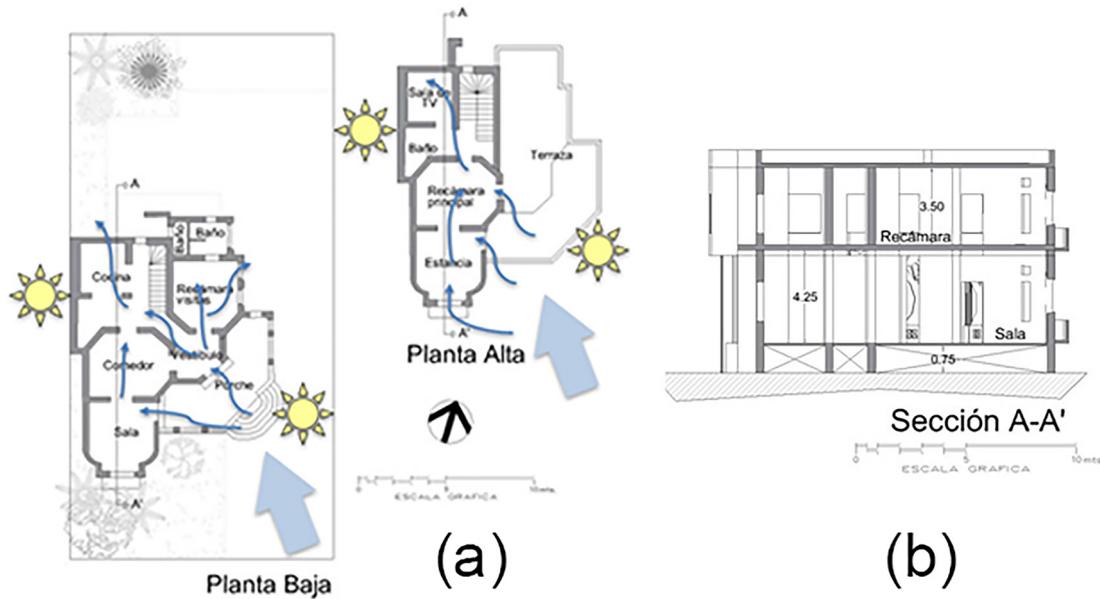


Figura 6. (a) Plantas arquitectónicas (b) Corte. Fuente. Elaboración de los autores

2. Casa Peláez, ubicada en calle Zapote 206, col. Águila. Construida en los años 1920's por la compañía El Águila. Perteneció al dueño actual desde 1940. Habitada por una persona de la tercera edad y una persona joven (Figura 7).

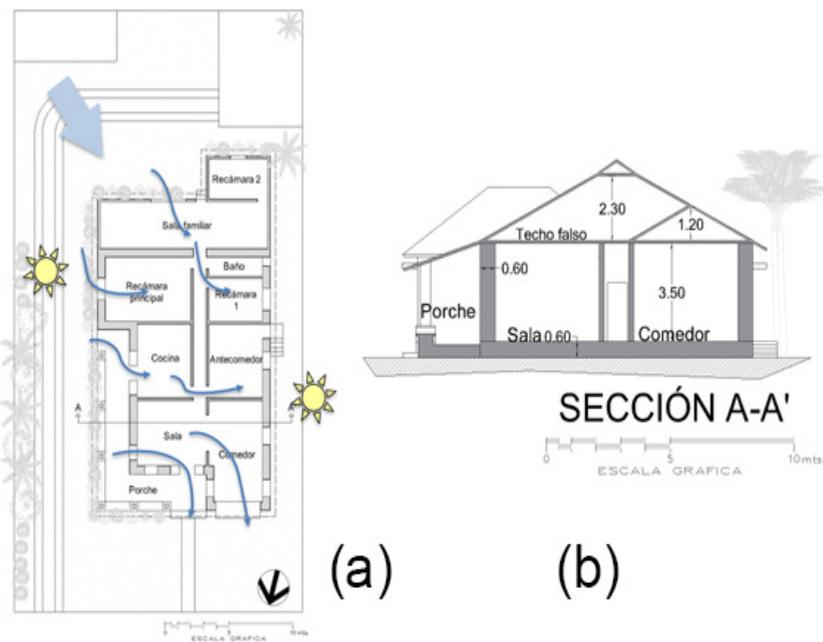


Figura 7. (a) Plantas arquitectónicas (b) Corte. Fuente. Elaboración de los autores.

3. Casa Meza ubicada en calle Pino 201, col. Altavista. Construida en 1926. Pertenece al dueño actual desde 1930. Habitada por una pareja de personas adultas (Figura 8).

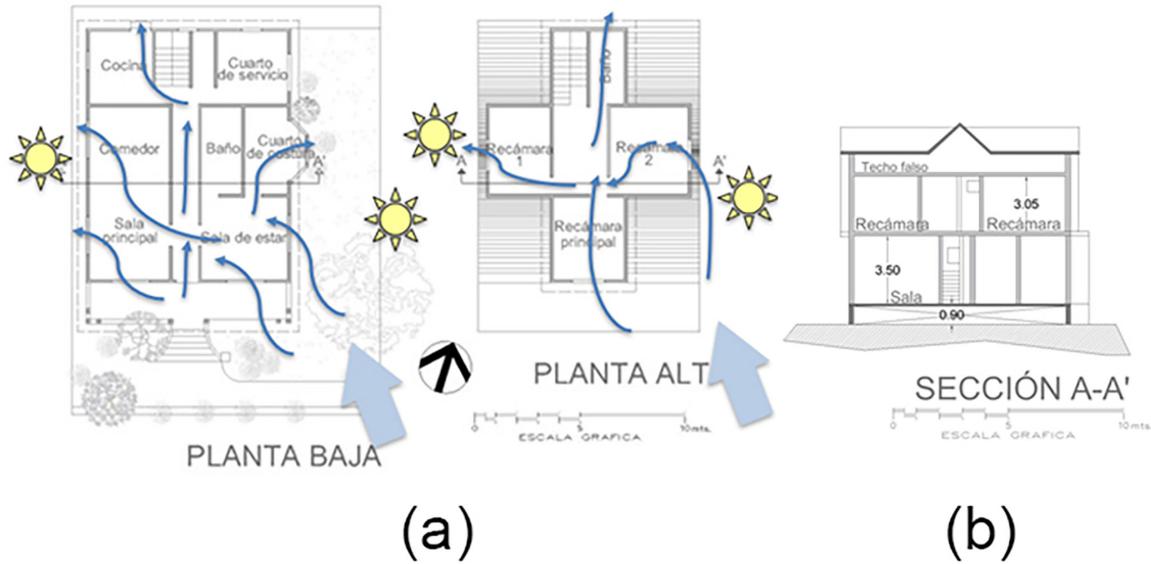


Figura 8. (a) Plantas arquitectónicas (b) Corte. Fuente. Elaboración de los autores

4. Casa Llerena ubicada en calle Cerezo 117, col. Altavista. Construida en 1929. Pertenece a los dueños actuales desde 1936. Habitada por una persona adulta (Figura 9).

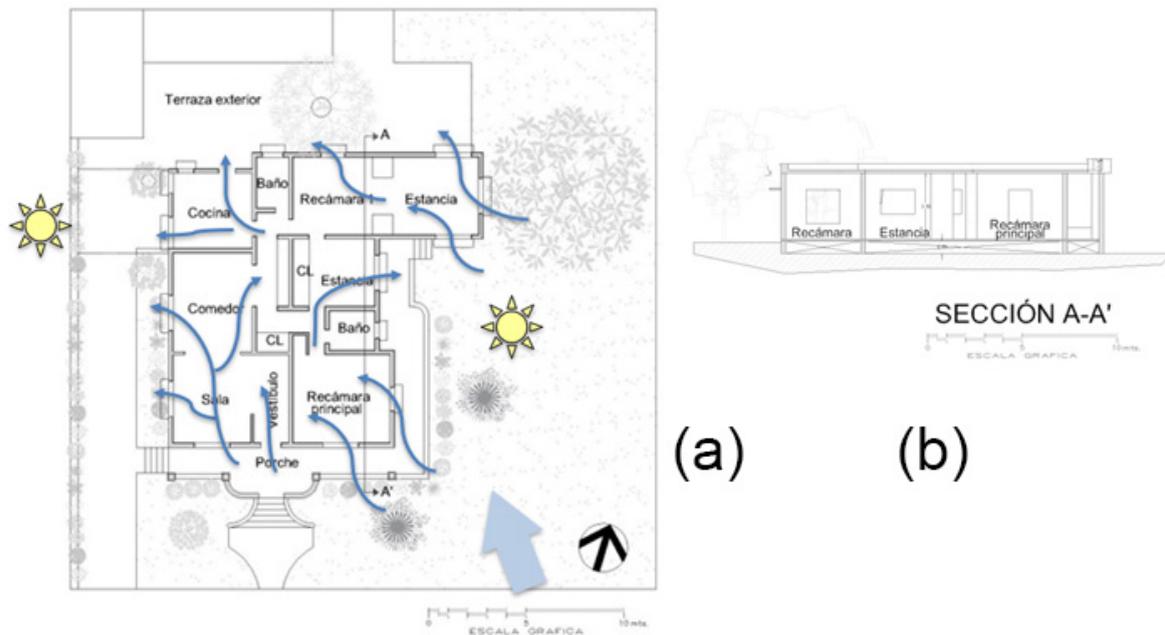


Figura 9. (a)Planta arquitectónica (b) Corte. Fuente. Elaboración de los autores

5. Casa Luengas en avenida Hidalgo, col. Altavista. Construida en 1926. Pertenece a los dueños actuales desde 1938. Habitada por un adulto mayor y una persona joven (Figura 10).

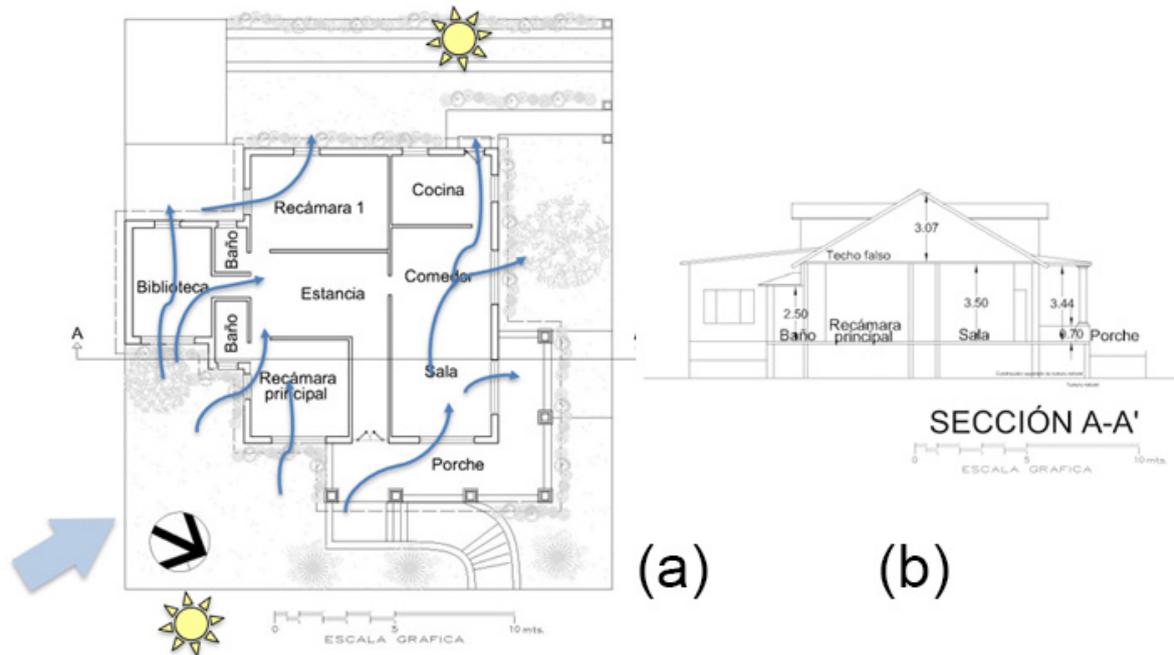


Figura 10. (a) Planta arquitectónica (b) Corte. Fuente. Elaboración de los autores

Características y entorno inmediato del conjunto

Según las características del entorno inmediato de las colonias Águila y Altavista en Tampico, se observa que estas áreas cuentan con una altitud promedio de 20msnm, con terrenos orientados de norte-sur y una superficie de 500-1000m². La presencia de suficiente vegetación en los predios favorece el sombreado de las fachadas y entorno cercano, lo que contribuye al buen funcionamiento bioclimático y al confort interior de las viviendas. Lo mismo sucede con la disposición hacia el centro de las viviendas en el terreno, dado que permite un flujo de viento óptimo, lo cual es beneficioso para el confort térmico en el interior de las estas.

Estas condiciones proporcionan un ambiente favorable para la implementación efectiva de estrategias bioclimáticas y sostenibles, brindando confort y eficiencia energética a los habitantes. En nuevas urbanizaciones se recomienda priorizar estas condiciones favorables, incluyendo suficiente vegetación para sombreado, espacios abiertos y una distribución eficiente de las viviendas para favorecer el movimiento del aire. En aquellos casos donde no se pueda replicar estas condiciones, se deben considerar recomendaciones complementarias, como estrategias de sombreado y diseño de paisajes para garantizar el confort interior y el funcionamiento efectivo de las estrategias bioclimáticas.

DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE LAS VIVIENDAS

El objetivo del estudio fue identificar las estrategias y/o sistemas bioclimáticos incorporados en el diseño arquitectónico de cada una de las viviendas de estudio, en relación con las estrategias bioclimáticas recomendadas para el clima de la ciudad de Tampico. Este proceso implicó la identificación y descripción de las estrategias y sistemas bioclimáticos identificados en las viviendas estudiadas. Todo lo anterior se resume de manera concisa en la Tabla 1.

Al comparar los hallazgos del presente estudio, se puede observar que las viviendas caso de estudio han incorporado, de manera generalizada, criterios de diseño que se alinean con estrategias bioclimáticas definidas en la investigación. Dichas estrategias representan elementos y sistemas que han perdurado al paso del tiempo, gracias a su buen funcionamiento en términos de confort para los ocupantes.

En cuanto al diseño de vivienda, se observa la existencia de casos de estudio que presentan una forma semicompacta, la cual no es recomendada. No obstante, al presentar características de porosidad (aberturas en todas las fachadas), en conjunto con las aberturas interiores, los entresijos altos y las losas dobles ventiladas, se favorece la ventilación cruzada y el movimiento del aire al interior.

En general las estrategias se cumplen, derivándose los sistemas pasivos de la Tabla 2.

Tabla 1. Elementos identificados para estrategias de ventilación, movimiento del aire y sombreadamiento. Fuente: Elaboración de los autores.

Estrategias bioclimáticas para el clima de Tampico	Casa Harvey	Casa Peláez	Casa Meza	Casa Llerena	Casa Luengas
Espacios interiores abiertos. VENTILACIÓN	Ventilación cruzada en recámaras y zona social. Bardas bajas con herrería favoreciendo el paso del viento al terreno.	Espacios interiores con accesos enfrentados favoreciendo el flujo del viento. Barda baja con herrería favoreciendo el paso del viento al terreno.	Espacios interiores con accesos enfrentados favoreciendo el flujo del viento. Barda muy baja con herrería favoreciendo el paso del viento al terreno.	Espacios amplios con dos ventanas o más favoreciendo la ventilación cruzada. Barda muy baja favoreciendo el paso del viento al terreno.	Espacios amplios con dos ventanas favoreciendo la ventilación cruzada. Barda de malla favoreciendo el paso del viento al terreno.
Forma MOVIMIENTO DEL AIRE	Construcción semi compacta y porosa Relación 1:1.30, elevada del piso +0.75m. Entrepisos de 3.50m de alto.	Construcción alargada norte-sur. Relación 1:1.80, elevada del piso +0.45m. Cuenta con ático, techo falso y aberturas para sacar el aire caliente. Entrepisos de 3.50m de alto.	Construcción semi compacta y porosa Relación 1:1.50, elevada del piso +0.90m. Cuenta con ático, techo falso, y aberturas para sacar aire caliente. El piso está separado del terreno natural y cuenta con aberturas en el perímetro. Entrepisos de 3.50m de alto.	Construcción semi compacta y porosa. Relación 1:1.25, elevada del piso +0.90m. Entrepisos de 3.50m de alto.	Construcción semi compacta y porosa Relación 1:1.20, elevada del piso +0.30m. Cuenta con ático, techo falso, y aberturas para sacar aire caliente. Entrepisos de 3.50m de alto.
Aberturas y ventanas VENTILACIÓN	Porcentaje de vanos: Sureste 13.13%; Noroeste 18.91%; Este-norte: 12.58%; Oeste-sur: 9.29%	Porcentaje de vanos: Sureste 35.16%; Noroeste 27.41%; Este-norte: 15.73%; Oeste-sur: 15.09%	Porcentaje de vanos: Sureste 29.42%; Noroeste 12.84%; Este-norte: 22.44%; Oeste-sur: 17.10% *No se consideró el techo.	Porcentaje de vanos: Sureste 17.11%; Noroeste 13.25%; Este-norte: 13.38%; Oeste-sur: 15.85%	Porcentaje de vanos: Sureste 8%; Noroeste: 18.21%; Este-norte: 21.44%; Oeste-sur: 12.21%
Elementos de protección solar SOMBREAMIENTO	Pórtico techado orientado al sureste de 3.15 mts de ancho por 10.8m de desarrollo.	Aleros perimetrales de 40 cm de ancho. Pórtico techado en forma de "L" orientación Noroeste y Este-Norte, de 3.5m ancho promedio.	Aleros perimetrales de 40 cm de ancho. Pórtico techado con orientación Sureste, de 1.74mts de ancho.	Aleros anchos de ventanas de 50 cm. Pórtico techado en forma de "L" orientación Sureste y Este-Norte, de 1.6m ancho promedio	Aleros perimetrales de 40 cm de ancho. Pórtico techado en "L" con orientación Oeste de 2 mts de ancho promedio.
Orientación VENTILACIÓN Y MENOR RADIACIÓN PERPENDICULAR	 Sur 23°Este	 Norte 14°Oeste	 Sur 26°Este	 Sur 23°Este	 Este 22° Norte
Colores reflectantes en interior y exterior. ASEGURAR LA REFLECTANCIA	Pintura color gris claro en exteriores, blanca en interiores. Techo color blanco.	Acabado de piedra aparente color amarillo claro en exteriores, color beige en interiores. Cubierta inclinada color rojo.	Pintura color blanco en exteriores, blanca en interiores. Cubierta inclinada color verde.	Pintura color gris claro en exteriores, blanca en interiores. Techo color blanco.	Pintura color blanco en exteriores, beige en interiores. Cubierta inclinada color verde.

Tabla 2. Elementos y /o sistemas identificados. Fuente: Elaboración de los autores.

Estrategias recomendadas para el clima de la ciudad	Sistemas identificados en las viviendas de estudio
Espacios interiores abiertos para favorecer ventilación.	Espacios con aberturas interiores coincidentes entre sí. Puertas con aberturas que permiten el paso del viento. Ventilación cruzada en recámaras y espacios sociales.
Espacios exteriores abiertos para favorecer ventilación.	Uso de bardas bajas o mallas para favorecer el paso del viento al interior del terreno.
Formas que permitan disminuir la radiación al interior	Viviendas con áticos y techos dobles con ventilación para sacar el aire caliente. Viviendas sobre el nivel del terreno natural. En vivienda separada del terreno natural se cuenta aberturas para movimiento de aire y disminución de la humedad.
Formas que favorecen el movimiento de aire	Techos altos que favorecen el movimiento del aire y permiten que el aire caliente suba y no esté al nivel de los usuarios.
Aberturas y ventanas que favorecen la ventilación con sistemas de sombreado y disminuyen la radiación al interior	Grandes claros en fachadas sur y norte. Aleros perimetrales en cubiertas. Aleros individuales por ventana. Porches orientados al sur, al este y oeste.
Elementos de protección solar que evitan la radiación al interior de las aberturas	Porches que impiden el paso de la radiación al interior. Aleros por ventana y perimetrales.
Orientación que favorece la ventilación.	Ventanas orientadas hacia los vientos dominantes de tamaño considerable, lo cual puede no provocar grandes presiones de aire, pero si permite el paso del viento al interior.
Colores reflectantes en interior y exterior para disminuir la transferencia de calor.	En muros se observan colores claros en general, tanto en interior como en exterior. En cubiertas, algunas viviendas de color blanco, 2 de color verde y una de color rojo.
Vegetación dentro del predio para favorecer el sombreado	Las viviendas cuentan con vegetación de mediana a grande. Arboles colocados en fachadas este y oeste que ayudan al sombreado.

Tras el análisis de los resultados, se demuestra que las estrategias pasivas bioclimáticas definidas en el diagrama psicrométrico de Givoni se aplican en las viviendas objeto de estudio en su diseño original. Asimismo, se evidencia que la estrategia más importante en el interior es la ventilación natural, sobre todo en los meses cálidos, corroborando las conclusiones de Velasco-Roldán (2011) La observación de sistemas de diseño sencillo en estas viviendas, como ventanas de gran tamaño con orientación a barlovento y puertas interiores con ventanas superiores, favorecen la ventilación cruzada y el paso del aire entre espacios. Estos sistemas pueden ser extrapolados en diseños de vivienda actual, ya que pueden proporcionar una mejora significativa del confort higrotérmico interior.

Con relación a las estrategias definidas mediante la gráfica de Olgay para exteriores, y corroboradas por los

estudios de Rosas-Lusett et al. (2020), se puede concluir que son adecuadas en función del mayor confort en el entorno inmediato de los edificios, lo que puede influir positivamente en la temperatura del aire antes de ingresar a la vivienda, mejorando también el confort interior.

Finalmente, se demuestra que el seguimiento de los criterios definidos por Szokolay (2014) y López de Asiain (2001) en relación con el proceso metodológico y enfoque estratégico de análisis del contexto físico y cultural-antropológico, ha producido resultados significativos que permiten afirmar que las viviendas estudiadas y construidas durante el auge petrolero en Tampico pueden ser una referencia importante para la mejora en términos de diseño bioclimático de las viviendas actuales en la zona, además de destacarse como un patrimonio cultural y ambiental que merece reconocimiento (Domínguez Ruiz & Rey Pérez, 2019).

CONCLUSIONES

El presente estudio destaca la importancia de los ejemplos de arquitectura de viviendas construidas durante el auge petrolero en Tampico, dado que se evidencia que el hecho de contar con estrategias y sistemas bioclimáticos adaptados localmente logra brindar mejores y adecuadas condiciones de confort a las viviendas (Espuna-Mújica, 2011). A pesar de que estos diseños originales fueron importados de otros contextos, se pudieron adaptar al contexto climático local, demostrando que las estrategias bioclimáticas eran necesarias y potencialmente utilizables para Tampico.

Estos sistemas, caracterizados tanto de manera genérica en los estudios de Serra Florensa y Coch Roura (1995), como específica en los de Manzano-Agugliaro et al. (2015), han sido validados como adecuados para enfrentar el clima cálido-húmedo. Así mismo, se confirman las expectativas iniciales sobre el aporte de la vivienda histórica de una ciudad con un clima específico, que podrían resultar claves para la vivienda actual que se construye en la misma ciudad. Estos aportes deberán ser estudiados y cuantificados en su extrapolación a la vivienda actual en Tampico en futuras investigaciones.

Se concluye que, aun cuando estas viviendas a pesar de su interés estético-histórico-constructivo no han sido catalogadas como patrimonio cultural, pueden realizar un gran aporte en términos medioambientales y de comportamiento bioclimático, por lo que podrían considerarse patrimonio ambiental, según las propuestas de autores como Rey (2017). Sin embargo, la presente investigación no permite determinar en términos cuantitativos el potencial de mejora en confort de los diseños estudiados. En este sentido, se puede plantear este trabajo como una primera parte de una investigación más integral, en la que se ha logrado identificar las estrategias y sistemas bioclimáticos utilizados para el diseño arquitectónico de las viviendas. De esta manera, para continuar profundizando en este estudio, será necesario realizar mediciones y/o simulaciones de dicho comportamiento para comprobar los rangos de efectividad en términos de confort de las viviendas y así conocer con precisión los beneficios de implementar en el diseño actual las estrategias y sistemas que se presentan en esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación (CONAHCYT). Agradecimiento a la Universidad Autónoma de Tamaulipas y a la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Agradecimiento a las familias Meza, Llerena, Luengas y Peláez por sus valiosas aportaciones al presente estudio.

Contribución de los autores: Conceptualización, A.O.C.; Curación de datos, A.O.C. y M.L.A.A.; Análisis formal, M.L.A.A.; Adquisición de financiación, A.O.C.; Investigación, A.O.C.; Metodología, A.O.C., M.L.A.A. y M.R.L.; Administración de proyecto, A.O.C. y M.L.A.A.; Recursos; Software; Supervisión; Validación, A.O.C., M.L.A.A. y M.R.L.; Visualización; Escritura – borrador original, A.O.C.; Escritura – revisión y edición, A.O.C., M.L.A.A. y M.R.L.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, T., Kumar, P., & Mottet, L. (2021). Natural ventilation in warm climates: The challenges of thermal comfort, heatwave resilience and indoor air quality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 138, 110669. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2020.110669>
- Auliciems, A. (1981). Towards a psycho-physiological model of thermal perception. *International Journal of Biometeorology*, 25(2), 109-122. <https://doi.org/10.1007/BF02184458>
- Bartorila, M. Á., & Loredó, R. I. (2017). La Industria Petrolera y la Modernidad: Transformaciones Urbanas en Tampico-Madero, Tamaulipas, México. *CONTEXTO. Revista De La Facultad De Arquitectura De La Universidad Autónoma De Nuevo León*, 11(14), 43-61. <https://contexto.uanl.mx/index.php/contexto/article/view/63>
- Beltrán-Fernández, M., García-Muñoz, J., & Dufrasnes, E. (2017). Analysis of the bioclimatic strategies used by Frank Lloyd Wright in the Jacobs I house. *Informes de la Construcción*, 69(547), 213. <https://doi.org/10.3989/ic.16.156>
- Cruz-Rico, J., Rivas, D., & Tejeda-Martínez, A. (2015). Variability of surface air temperature in Tampico, northeastern Mexico. *International Journal of Climatology*, 35(11), 3220-3228. <https://doi.org/10.1002/joc.4200>
- De Dear, R. (2004). Thermal comfort in practice. *Indoor Air*, 14(s7), 23-39. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00270.x>
- Gaytan-Ortiz, I. (2019). Diseño bioclimático en la arquitectura de hoy. *Artificio* 1(1), 14-23. <https://revistas.uaa.mx/index.php/artificio/article/view/2296>
- Domínguez Ruiz, V., & Rey Pérez, J. (2019). Vernacularmente: patrimonio cultural y retos de sociedad. *revista PH*, 97, 15-16. <https://doi.org/10.33349/2019.97.4375>
- Elaouzy, Y., & El Fadar, A. (2023). Sustainability of building-integrated bioclimatic design strategies depending on energy affordability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 179, 113295. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2023.113295>
- Espuna-Mújica, J. A. (2011). *Evolución de la vivienda inglesa en Tampico: La influencia del modelo de vivienda inglesa en la Costa del Golfo de México*. Editorial Académica Española.

- Fraser, A. M., Chester, M. V., & Eisenman, D. (2018). Strategic locating of refuges for extreme heat events (or heat waves). *Urban Climate*, 25, 109-119. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.04.009>
- Givoni, B. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, 18(1), 11–23. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(92\)90047-K](https://doi.org/10.1016/0378-7788(92)90047-K)
- Givoni, B. (2011). Indoor temperature reduction by passive cooling systems. *Solar Energy*, 85(8), 1692–1726. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.10.003>
- Hu, M., Zhang, K., Nguyen, Q., & Tasdizen, T. (2023). The effects of passive design on indoor thermal comfort and energy savings for residential buildings in hot climates: A systematic review. *Urban Climate*, 49, 101466. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101466>
- López de Asiain, J. (2001). *Arquitectura, ciudad, medio ambiente*. Universidad de Sevilla.
- Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Sabio-Ortega, A., & García-Cruz, A. (2015). Review of Bioclimatic Architecture Strategies for Achieving Thermal Comfort. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 49, 736-755. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.095>
- Monroy, M. M. (2001). Claves del diseño bioclimático. *Basa*, 23, 170-179. <https://topodata.com/wp-content/uploads/2019/10/urbanismo-bioclimatico1.pdf>
- Morgan, N., & Gómez-Azpeitia, G. (2018). Development of a Mexican Standard of Thermal Comfort for Naturally Ventilated Buildings. *Proceedings of 10th Windsor Conference: Rethinking Comfort*, 596–608. https://windsorconference.com/wp-content/uploads/2019/04/W18_PROCEEDINGS-compressed.pdf
- Olgay, V. (2004). *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Editorial GG
- Rey, J. (2017). From heritage as an architectural object to the heritagization of the landscape: A review of the International Charters and Textos of cultural heritage. *Estoa. Journal of the Faculty of Architecture and Urbanism*, 6(10), 35–48. <https://doi.org/10.18537/est.v006.n010.04>
- Ribeiro, A. S., Alves e Sousa, J., Cox, M. G., Forbes, A. B., Matias, L. C., & Martins, L. L. (2015). Uncertainty Analysis of Thermal Comfort Parameters. *International Journal of Thermophysics*, 36(8), 2124-2149. <https://doi.org/10.1007/s10765-015-1888-1>
- Rosas-Lusett, M., Calzada, J. R., & Roura, H. C. (2020). Buildings in warm humid weather. Tampico, Tamaulipas case. Mexico. *Architecture, City and Environment*, 15(44), 1–24. <https://doi.org/10.5821/ace.15.44.5667>
- Rubio-Bellido, C., Pulido-Arcas, J. A., & Cabeza-Lainez, J. M. (2015). Adaptation strategies and resilience to climate change of historic dwellings. *Sustainability*, 7(4), 3695-3713. <https://doi.org/10.3390/su7043695>
- Serra Florensa, R., & Coch Roura, H. (1995). *Arquitectura y energía natural*. Edicions Upc. <http://nicolasdiruscio.com.ar/archivos/Libros/Arquitectura%20y%20energia%20natural.pdf>
- Szokolay, S. (2014). *Introduction to Architectural Science*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315852409>
- Szokolay, S. V. (1986). Climate analysis based on the psychrometric chart. *International Journal of Ambient Energy*, 7(4), 171-182. <https://doi.org/10.1080/01430750.1986.9675499>
- Van Hoof, J., Mazej, M., & Hensen, J. L. (2010). Thermal comfort: Research and practice. *Frontiers in Bioscience*, 15(2), 765–788. <https://doi.org/10.2741/3645>
- Velasco-Roldán, L. (2011). *El Movimiento del Aire Condicionante de Diseño Arquitectónico*. <http://luisvelascoroldan.com/wp-content/uploads/libro-final.pdf>