

7. Vivienda bioclimática y resiliencia climática en Veracruz. Estrategias para el confort térmico y la adaptación al cambio climático



JORGE ALBERTO ALLEN AMESCUA*
DANIEL ROLANDO MARTÍ CAPITANACHI**

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.445.07>

Resumen

En el contexto actual de la crisis climática global y la creciente frecuencia de eventos climáticos extremos, la resiliencia urbana y habitacional se ha convertido en una prioridad fundamental para el desarrollo sustentable. Las viviendas ubicadas en regiones costeras y tropicales, como el estado de Veracruz, enfrentan desafíos cada vez más complejos. Esta región es una de las más vulnerables a huracanes, lluvias torrenciales, inundaciones y olas de calor, lo que resalta la urgencia de desarrollar modelos de vivienda que no solo resistan los estragos del clima, sino que también garanticen el confort térmico como parte esencial de la resiliencia de la vivienda.

Este capítulo examina la estrecha relación entre la arquitectura y el bioclima, analizando cómo las condiciones climáticas locales influyen en el diseño y la construcción de viviendas. Su objetivo es identificar estrategias efectivas que mejoren la eficiencia energética, el confort térmico y la capacidad de adaptación a eventos climáticos futuros extremos.

Se identifican principios fundamentales del diseño bioclimático resiliente y se analiza la vulnerabilidad de la vivienda convencional en contextos tropicales. Parte de una perspectiva que rescata los principios del diseño

* Maestro Arquitecto. Profesor de la Universidad Anáhuac, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0918-8603> ; correo electrónico: jallen@uv.mx

** Doctor en Arquitectura y Urbanismo. Profesor de tiempo completo de la Facultad de Arquitectura-Xalapa de la Universidad Veracruzana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8610-9469>

bioclimático en conjunción con un enfoque actual de resiliencia urbana y habitacional. Se revisan conceptos clave como el confort térmico y la adaptación al cambio climático.

Palabras clave: *arquitectura bioclimática, resiliencia climática, confort térmico, adaptación climática.*

Introducción

La arquitectura contemporánea se enfrenta a uno de los mayores retos del siglo XXI: diseñar hábitats resilientes ante los impactos crecientes del cambio climático. En regiones como Veracruz, donde convergen fenómenos naturales intensos y una importante desigualdad social, la vivienda debe evolucionar de manera urgente hacia formas más adaptativas, accesibles y sustentables. No basta con que una vivienda resista estructuralmente un huracán o una inundación; debe también garantizar condiciones mínimas de confort térmico y habitabilidad durante y después de estos eventos.

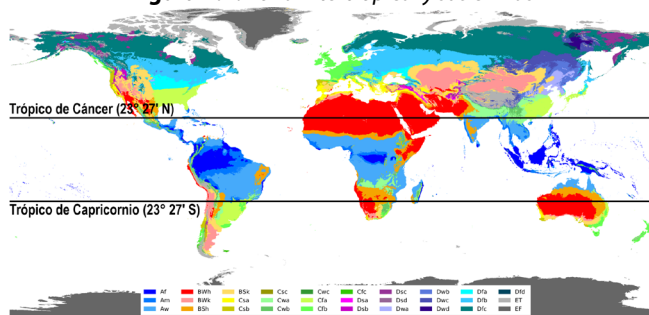
La creciente frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos ha puesto de relieve la vulnerabilidad de nuestras ciudades y hogares al cambio climático. En este contexto, la resiliencia urbana surge como un concepto fundamental que trasciende la simple resistencia a las perturbaciones para abarcar la capacidad de los sistemas urbanos de adaptarse, transformarse y recuperarse (Folke et. al., 2010). Veracruz enfrenta retos particulares en materia de resiliencia climática. Sus características geográficas y climáticas lo hacen especialmente vulnerable a fenómenos como huracanes, inundaciones, sequías y olas de calor extremas. En este escenario, la vivienda, como refugio básico para los seres humanos, debe evolucionar hacia modelos que no solo brinden confort, sino que también garanticen la supervivencia y el bienestar ante eventos climáticos adversos.

Actualmente, la mayoría de las estrategias gubernamentales de reconstrucción se centran en criterios estructurales y económicos, pero descuidan los aspectos ambientales y sensoriales del habitar. Rodríguez (2014) menciona que es particularmente grave que este tipo de soluciones no consideran la reconstrucción integral de las comunidades, anulando sus derechos y produ-

ciendo la fragmentación del patrimonio histórico-cultural de las mismas. Esta omisión genera viviendas que, aunque nuevas o reforzadas, resultan térmicamente inadecuadas para las condiciones climáticas del trópico húmedo. Por otro lado, las soluciones tradicionales, muchas veces desestimadas por su informalidad, ofrecen lecciones valiosas sobre adaptación climática que pueden integrarse a nuevos enfoques arquitectónicos.

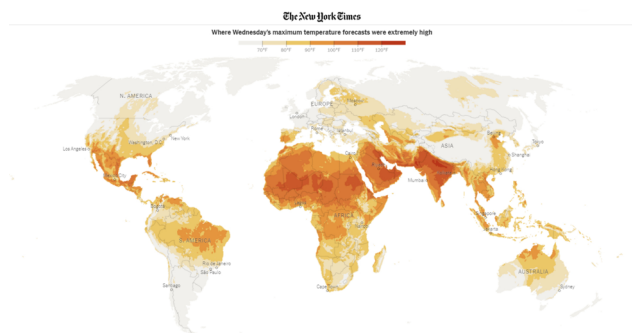
La zona intertropical del planeta, con sus climas variados y extremos, como se muestra en la figura 7.1, presenta la urgente necesidad de desarrollar soluciones arquitectónicas que optimicen el uso de recursos naturales y energéticos, y que, al mismo tiempo, mejoren el confort térmico de los usuarios, haciendo frente a las crecientes olas de calor, como se observa en la figura 7.2.

Figura 7.1. Zona intertropical y sus climas



Nota: en este mapa se resalta la franja intertropical. Adaptado de Wikipedia contributors (2026, 4 de enero). Köppen climate classification. https://en.wikipedia.org/wiki/K%C3%B6ppen_climate_classification#/media/File:Koppen-Geiger_Map_v2_World_1991%E2%80%932020.svg

Figura 7.2. Ola de calor en el mundo durante el miércoles 29 de mayo de 2024



Nota: el calor intenso azota el planeta durante los últimos años, lo que produce temperaturas récord en ambos hemisferios. Tomado de Gamio, L., Levitt, Z., Shao, E. y Khurana, M. (2024, 29 de mayo). Global Heat Forecast: Tracking high temperatures across the world. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/interactive/2025/world/global-heat-wave-map-tracker.html#>

Principios de la vivienda resiliente. Conceptualización de la resiliencia en el contexto habitacional

La vivienda resiliente puede describirse como aquella que puede resistir, recuperarse y adaptarse a los efectos adversos del cambio climático o a los desastres naturales. Es la capacidad de los asentamientos humanos para afrontar las crisis (ambientales, económicas y sociales) y responder a ellas a lo largo del tiempo (Gambo, 2023). Tal como se muestra en la figura 7.2, esta capacidad se manifiesta en múltiples dimensiones:

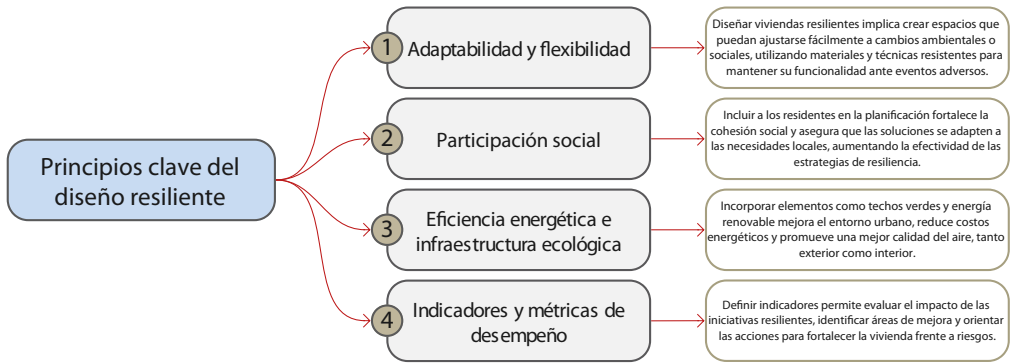
Figura 7.3. Conceptualización de la resiliencia en el contexto habitacional



Fuente: elaboración propia.

Principios clave del diseño resiliente

Los principios que se muestran en la figura 7.4 describen los aspectos clave del diseño resiliente, ofreciendo un marco para diseñar viviendas que no solo resistan las interrupciones, sino que también fomenten el bienestar y la autonomía de sus habitantes. Desde la arquitectura adaptable y la participación comunitaria hasta la infraestructura verde o ecológica y las mediciones del desempeño, estos elementos contribuyen colectivamente a un entorno construido más sólido y adaptable.

Figura 7.4. Principios clave del diseño resiliente

Fuente: elaboración propia.

Beneficios de la vivienda resiliente

Las viviendas resilientes suelen tener un mejor valor de reventa, debido a su durabilidad, eficiencia energética y menores requerimientos de mantenimiento. Además, disminuyen la carga sobre los servicios municipales durante los periodos post desastre, lo que permite que la atención y los recursos se canalicen hacia áreas más vulnerables (Guterman, 2024).

Resiliencia climática y arquitectura bioclimática

La resiliencia climática

La resiliencia climática es la capacidad de un sistema —como una ciudad, una comunidad, un ecosistema o un individuo— de anticipar, absorber, adaptarse y recuperarse de los efectos de los riesgos climáticos. No se trata solo de sobrevivir a un solo evento, sino de tener la capacidad de mantener funciones esenciales y prosperar ante el cambio climático continuo (Jonker y McGrath, 2025). Los componentes más importantes de la resiliencia climática son:

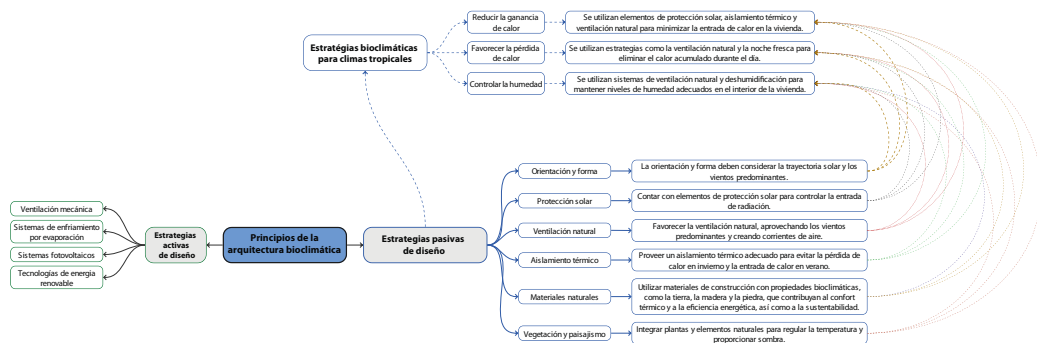
1. **Anticipación:** es comprender los riesgos y las vulnerabilidades climáticas y utilizar ese conocimiento para prepararse ante eventos futuros (UK Green Building Council, 2025).
2. **Absorción:** es la capacidad de resistir y amortiguar el impacto inicial de un evento climático sin provocar una falla catastrófica. Un sistema resiliente puede resistir un impacto y seguir funcionando (Jonker y McGrath, 2025).
3. **Adaptación:** es la capacidad de ajustarse a las nuevas condiciones climáticas. Puede ser un proceso a largo plazo (Jonker y McGrath, 2025).
4. **Recuperación:** es la capacidad de restablecerse rápida y eficazmente después de un desastre. Una comunidad resiliente no solo reconstruye; reconstruye mejor (Jonker y McGrath, 2025).

La arquitectura bioclimática como estrategia de resiliencia

La arquitectura bioclimática representa una estrategia integral de resiliencia que aprovecha las condiciones climáticas locales para crear espacios habitables que respondan de manera inteligente a las variaciones ambientales (Elaouzy y El Fadar, 2022). Como define Beatriz Garzón (2007): “la arquitectura bioclimática es aquella arquitectura que tiene en cuenta el clima y las condiciones del *entorno* para ayudar a conseguir el *comfort* higrotérmico interior y exterior. Involucra y juega exclusivamente con el diseño y los elementos arquitectónicos, sin utilizar sistemas mecánicos (los que son considerados solo como sistemas de apoyo)”, tal como se explica en el diagrama de la figura 7.5.

En el contexto de la resiliencia, esta definición se amplía para incluir la capacidad de mantener el confort y la habitabilidad incluso durante condiciones climáticas extremas, como las olas de calor, reduciendo la dependencia de sistemas externos y aumentando la autonomía energética de las viviendas.

Actualmente es una prioridad diseñar y construir viviendas que respondan de manera eficiente a las condiciones climáticas locales, es decir, propias de cada microrregión para, de esta manera, abordar los desafíos del cambio climático y la sustentabilidad, como se explica en la tabla 7.1.

Figura 7.5. Principios de la arquitectura bioclimática

Fuente: elaboración propia.

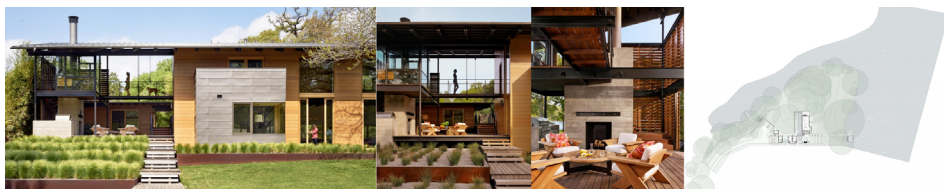
Tabla 7.1. Vivienda normal vs. vivienda bioclimática y resiliente

	Vivienda convencional	Vivienda bioclimática y resiliente
Confort térmico	Bajo	Alto
Eficiencia energética	Baja	Alta
Adaptación al cambio climático	Limitada	Alta
Resiliencia	Baja	Alta
Bienestar de los usuarios	Moderado	Alto
Reducción de impacto ambiental	Baja	Alta
Promoción de la sustentabilidad	Baja	Alta

Fuente: elaboración propia.

Es necesario cambiar la forma en que se realiza la producción de viviendas por una que mejore la calidad de vida de las personas, como muestra la figura 7.6.

Figura 7.6. *Hog Pen Creek Residence, por Lake-Flato Architects, Austin, Texas*



Nota: la casa se adapta a un terreno complejo junto al lago Austin mediante una disposición en L y un recorrido exterior que conecta volúmenes escalonados hasta un pabellón junto al agua. Combina espacios íntimos y sociales mediante porches y una sala de doble altura.

Fuente: Hog Pen Creek Residence (s. f.). Lake Flato. <https://www.lakeflato.com/project/hog-pen-creek-residence/>

Estrategias fundamentales de resiliencia bioclimática

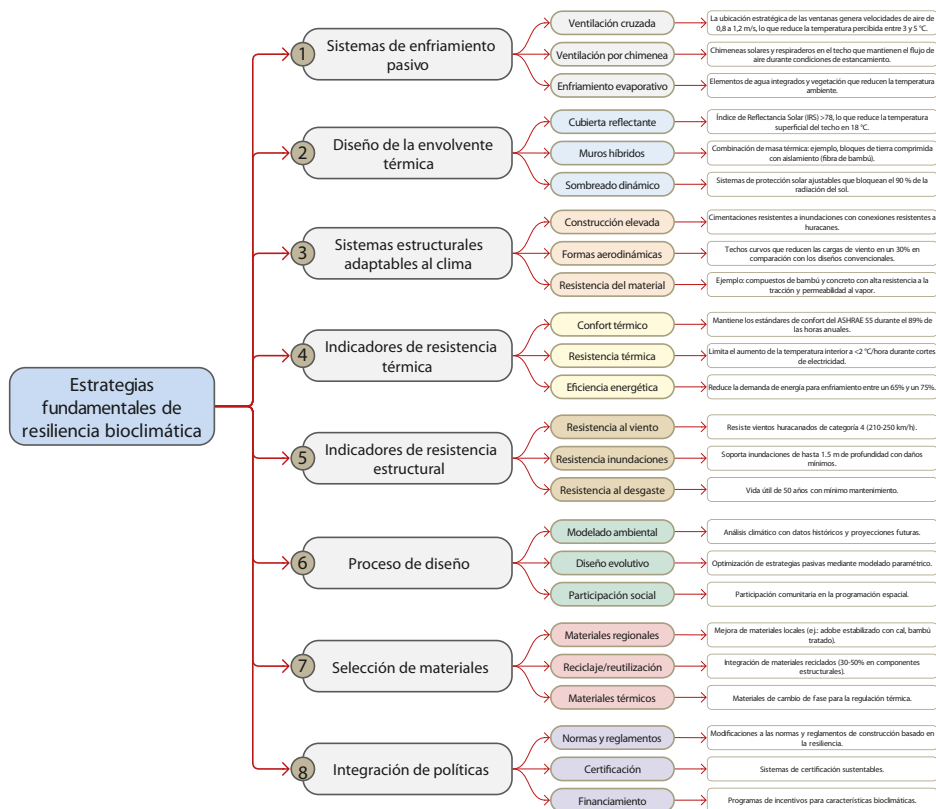
El diseño bioclimático resiliente se basa en estrategias fundamentales que contribuyen directamente a la resiliencia. Estas se muestran en la figura 7.7:

Las estrategias de resiliencia bioclimática, al integrarse con los principios fundamentales de la arquitectura bioclimática, permiten el desarrollo de una visión renovada para el diseño arquitectónico. Esta fusión genera un planteamiento novedoso, en el cual la adaptación al clima y la mejora de la calidad de vida se convierten en ejes centrales del proyecto, trascendiendo las prácticas tradicionales y proponiendo soluciones que responden de manera integral a los retos ambientales contemporáneos.

Contexto climático de Veracruz: desafíos y oportunidades para la resiliencia

Caracterización climática del estado de Veracruz

Veracruz se distingue por poseer una gran variedad de climas, que abarcan desde regiones costeras cálidas y húmedas hasta zonas templadas en las áreas montañosas. De acuerdo con la clasificación de Köppen-Geiger, el estado alberga diez tipos de clima diferentes, como lo muestran la tabla 7.2 y la figura 7.8.

Figura 7.7. Estrategias fundamentales de resiliencia bioclimática

Nota: el diagrama reúne estrategias de resiliencia para la vivienda, centradas en enfriamiento pasivo, envolvente térmica, sistemas estructurales resistentes, indicadores de desempeño, procesos de diseño, selección de materiales e integración de políticas para mejorar el confort, la eficiencia y la protección ante riesgos climáticos.

Fuente: Elaboración propia.

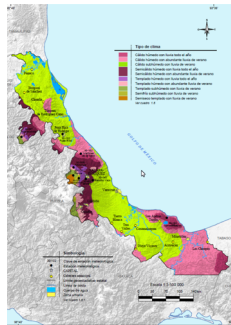
Tabla 7.2. Superficie estatal por tipo de clima

Tipo o subtipo, régimen de lluvia	Clave	Total
		100.00
Cálido húmedo con lluvia todo el año	Af	5.07
Cálido húmedo con abundante lluvia de verano	Am	26.42
Cálido subhúmedo con lluvia de verano	A(w)	54.13
Semicálido húmedo con lluvia todo el año	ACf	5.74
Semicálido húmedo con abundante lluvia de verano	ACm	2.96

Templado húmedo con lluvia todo el año	C(f)	1.44
Templado húmedo con abundante lluvia de verano	C(m)	1.90
Templado subhúmedo con lluvia de verano	C(w)	1.38
Semifrío subhúmedo con lluvia de verano	C(E)(w)	0.51
Semiseco templado con lluvia de verano	BS1k	0.45

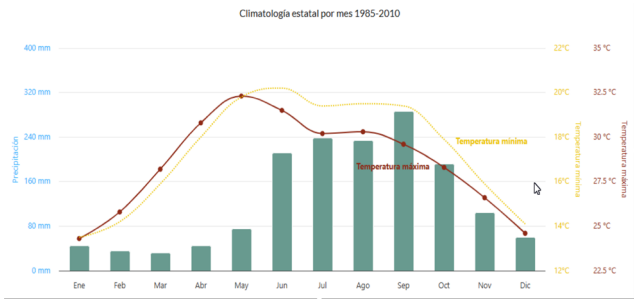
Fuente: INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta de Climas Escala 1:1 000 000, serie I.

Figura 7.8. Clasificación climática del estado de Veracruz



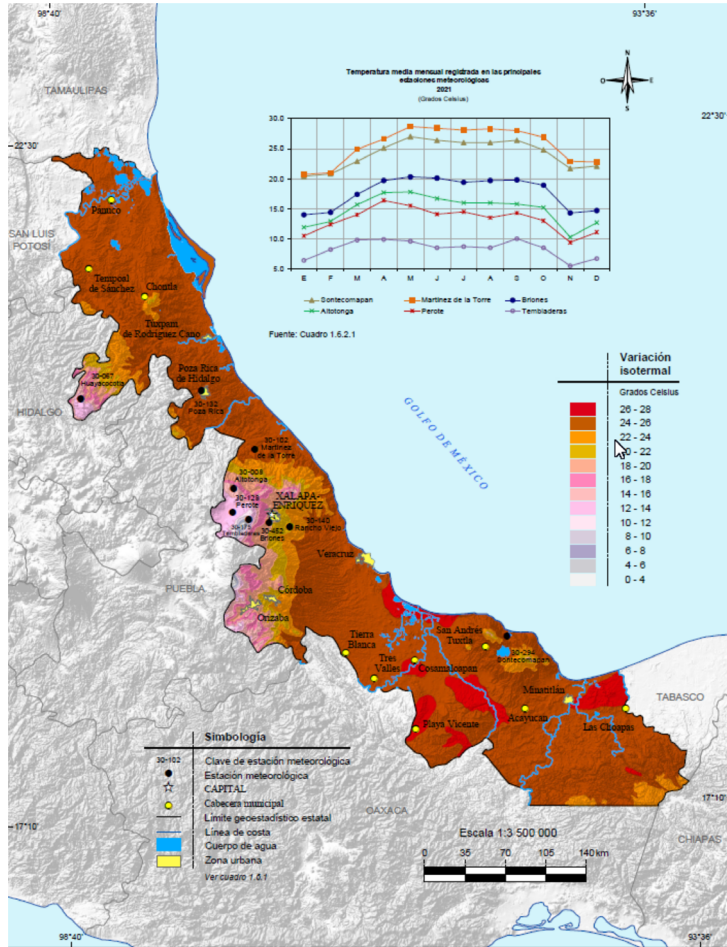
Nota: diversidad climática en el estado de Veracruz. Fuente: INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta de Climas Escala 1:1 000 000, serie I.

Figura 7.9. Gráfica de climatología del estado de Veracruz por mes de 1985 a 2010



Nota: en Veracruz mayo y junio son dos de los meses más cálidos con una Tmax promedio de 32.3 °C y 31.5 °C, respectivamente; los meses más fríos son diciembre (14.1 °C), enero (13.5 °C) y febrero (14.2 °C). La temporada de lluvia es de junio a noviembre, el mes más lluvioso es septiembre (285.9 mm). Tomado de INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático); Veracruz de Ignacio de la Llave; Información climática; climatología estatal: https://cambioclimatico.gob.mx/estadosymunicipios/Vulnerabilidad/V_30.html

Esta diversidad climática, aunque representa una riqueza natural, también plantea desafíos significativos para la resiliencia térmica de la vivienda. La figura 7.10 muestra la variabilidad de temperaturas debido a las diferencias en altitud y la influencia del golfo de México.

Figura 7.10. Distribución de la temperatura en el estado de Veracruz

Nota: variabilidad termal en el estado de Veracruz. Fuente: INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta de Climas Escala 1:1 000 000, serie I.

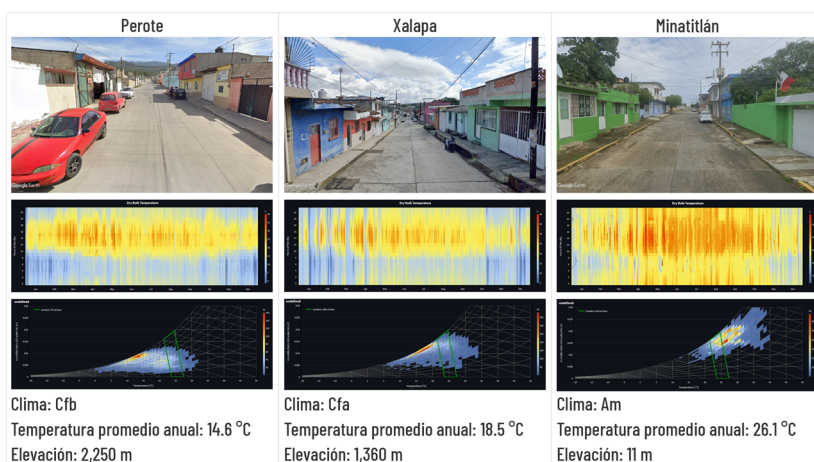
Vulnerabilidad de la vivienda convencional

Las viviendas urbanas en Veracruz muestran una notable uniformidad tipológica a pesar de la diversidad climática regional. Esta desconexión entre diseño arquitectónico y condiciones climáticas específicas genera múltiples vulnerabilidades:

- Dependencia energética excesiva: uso intensivo de aire acondicionado durante períodos de calor extremo.
- Vulnerabilidad térmica: incapacidad de mantener confort térmico durante interrupciones del suministro eléctrico.
- Inadecuación climática: diseños que no responden a las condiciones específicas de cada microclima.
- Baja capacidad adaptativa: limitada flexibilidad ante variaciones climáticas.

En la figura 7.11 se presenta una comparativa de las condiciones climáticas de tres ciudades de Veracruz: Perote, Xalapa y Minatitlán. En las fotografías de la fila superior se muestra una calle representativa de cada ciudad; se observa que las diferencias en la tipología de las viviendas, materiales, colores, tamaño de aberturas y vegetación son pocas. En la fila intermedia está representada la temperatura anual por horas y en la parte inferior la carta psicrométrica. Si las diferencias climáticas son considerables, ¿por qué la tipología de viviendas es tan parecida?

Figura 7.11. Comparativa climática entre Perote, Xalapa y Minatitlán



Nota: a pesar de que existen diferencias climáticas considerables en estas tres ciudades de Veracruz, como lo muestran las gráficas de temperatura de bulbo seco y la carta psicrométrica, las edificaciones, en este caso vivienda unifamiliar, se asemejan demasiado.

Fuente: Google. (s. f.). [Perote, Xalapa, Minatitlán]. <https://earth.google.com/>. Las gráficas se realizaron con la aplicación Weather Data Visualization (<https://weather-report-3a55378f5c9f.apps.production.pollination.cloud/>).

Impacto del bioclima en las viviendas

Los climas tropicales son aquellos en los que el calor es el problema predominante, en los que durante la mayor parte del año las edificaciones sirven para mantener a sus ocupantes frescos, y en los que la temperatura media anual no es inferior a 20 °C (Koenigsberger et al., 1975).

Las condiciones del clima tropical de Veracruz tienen un impacto considerable en el diseño y funcionamiento de las viviendas. Las altas temperaturas y la humedad que predominan durante gran parte del año y del territorio generan una demanda significativa de energía para climatización, principalmente para enfriamiento, como se muestra en la figura 7.12.

Figura 7.12. Comparativa de la temperatura anual de bulbo seco de Xalapa (1976-2021) y Veracruz (1981-2021)



Nota: las gráficas muestran las diferencias de temperature anual entre Xalapa y Veracruz. Tartarini y Schiavon, (2020). CBE Thermal Comfort Tool: Online tool for thermal comfort calculations and visualizations. *SoftwareX*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100563>

El confort térmico como indicador de resiliencia

El confort ambiental

El confort ambiental es un concepto general, y a su vez comprende factores particulares como el confort térmico, el acústico, el lumínico y el visual (Mayorga, 2012).

Fuentes (2004) define el confort térmico como “la percepción del medio circundante que se da principalmente a través de la piel. [...] A través del diseño de los espacios arquitectónicos y sistemas pasivos de climatización es posible conseguir condiciones térmicas confortables”. Para la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) y la International Organization for Standardization (ISO), el confort térmico se define como “la condición o el estado mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico o la temperatura del ambiente” (ASHRAE, 2023; ISO, 2005).

El confort térmico es tanto fisiológico como psicológico, lo que significa que depende no solo de factores ambientales medibles, sino también de las preferencias personales, la vestimenta, el nivel de actividad y la adaptación cultural. Representa un equilibrio donde el cuerpo no siente ni demasiado calor ni demasiado frío, lo que permite salud, productividad y bienestar óptimos. En la práctica, es la ausencia de incomodidad térmica, donde la producción de calor del cuerpo humano (a través del metabolismo) está en equilibrio con la pérdida de calor al ambiente por convección, radiación, evaporación y conducción (OSHWiki | European Agency for Safety and Health at Work, 2013).

Lograr el confort térmico es crucial en el diseño de viviendas y edificios, ya que la incomodidad provocada por temperaturas extremas puede provocar problemas de salud como estrés térmico, reducción del rendimiento físico y cognitivo, o mayor consumo de energía en los sistemas de calefacción y refrigeración mecánicos.

En la norma ISO 7730:2006 se distinguen tres categorías de confort, con diferentes temperaturas en verano e invierno debido a los distintos niveles de vestimenta. Para actividades sedentarias, la categoría A permite una temperatura mínima de 21 °C, la categoría B, 20 °C y la categoría C, 19 °C, cada una con una humedad relativa del 40%. Por consiguiente, durante el verano,

la categoría A permite una temperatura máxima de 25.5 °C, la categoría B, 26 °C y la categoría C, 27 °C, cada una con una humedad relativa del 60 % (Passipedia, 2019). El concepto ha evolucionado desde modelos estáticos a modelos más dinámicos que tienen en cuenta la adaptación de los usuarios.

Factores que influyen en el confort térmico:

1. Factores ambientales:

- Temperatura del aire
- Humedad relativa
- Velocidad del viento
- Radiación térmica y calor radiante

2. Factores personales:

- Vestimenta
- Actividad física
- Metabolismo
- Edad, peso y género
- Preferencias térmicas

Modelos e índices de confort térmico

Se han desarrollado varios modelos e índices para medir y predecir el confort térmico, cada uno con diferentes métricas, conceptos y aplicaciones. Los dos principales son los modelos de balance térmico (estado estacionario) y los adaptativos. A continuación, se presenta un resumen de los principales:

1. Modelo PMV (Predicted Mean Vote) y PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied):¹

- Origen: desarrollado por P. O. Fanger en los años setenta, basado en experimentos con personas en ambientes interiores controlados (Guenther, 2024).
- Fundamento: cálculo de la sensación térmica mediante seis variables: temperatura del aire, temperatura radiante media, humedad relativa, velocidad del aire, aislamiento de la ropa y tasa metabólica (Guenther, 2024).
- Aplicación: el PMV predice el voto medio de la sensación térmica de un grupo grande de usuarios en una escala de siete puntos (-3 = frío, 0 = neutro, +3 = calor) (Orosa y Oliveira, 2010).
- El PPD estima el porcentaje de personas que probablemente se sientan insatisfechas con un valor de PMV dado (p.ej., un PMV de 0 corresponde a aproximadamente un 5% de insatisfechos).
- Ventajas:
 - o Alta precisión en espacios con aire acondicionado.
 - o Reconocido por estándares internacionales como ISO 7730 y ASHRAE 55 (Commonwealth of Australia and the States and Territories of Australia, 2020).
- Limitaciones:
 - o Menor fiabilidad en edificaciones con ventilación natural.
 - o No contempla la adaptación térmica de los usuarios.
 - o Más adecuado para actividades sedentarias en entornos térmicamente estables (Yao et al., 2022).

2. Modelo de confort adaptativo:

- Origen: propuesto en los años noventa por Richard de Dear y Gail Brager.
- Fundamento: reconoce que las personas se adaptan activamente al entorno mediante mecanismos fisiológicos, psicológicos y conductuales.

¹ Si bien es común utilizar la terminología en inglés, estos conceptos se pueden traducir como: Modelo de Voto Predicho (VMP) y Porcentaje Predicho de Insatisfechos (PPI).

- Aplicación: basado en estudios de campo en edificios con ventilación natural, donde el confort térmico varía según la temperatura exterior (Center for the Bull Environment, 2023).
- El modelo utiliza una relación lineal:
(para una aceptabilidad del 90%)
Donde:
 - T_{comf} = temperatura operativa interior para el confort
 - $T_{\text{a,out}}$ = temperatura exterior media mensual
- Ventajas:
 - o Realista para edificios sin climatización mecánica.
 - o Considera adaptaciones culturales y estacionales.
 - o Promueve eficiencia energética al aceptar rangos térmicos más amplios.
 - o Reconocido por normas como ASHRAE 55 y EN 16798 (Yao et al., 2022).
- Limitaciones:
 - o Menos aplicable en espacios con aire acondicionado o bajo control ambiental limitado.
 - o Supone capacidad de adaptación, lo que puede no ser válido para grupos vulnerables (Orosa y Oliveira, 2010).

3. Otros índices y modelos de confort térmico

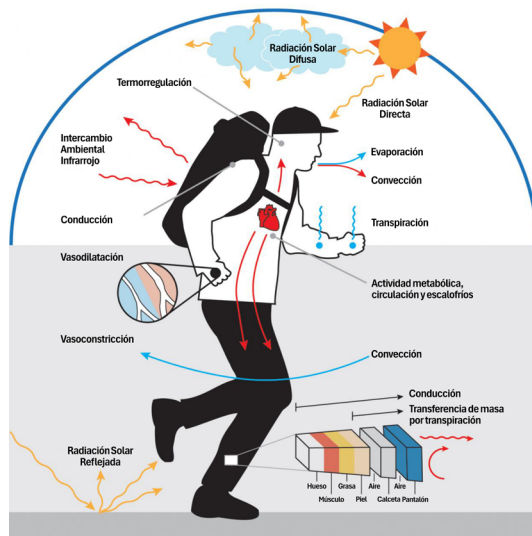
- Standard Effective Temperature (SET):² es una extensión del PMV, calcula una temperatura equivalente que produciría la misma temperatura y humedad de la piel en un entorno estándar. Resulta útil para comparar diversas condiciones (Jenkins, 2019).
- Physiological Equivalent Temperature (PET):³ se define como la temperatura del aire en la que, en un entorno interior típico (sin viento ni radiación solar), el balance de calor del cuerpo humano está equilibrado con la misma temperatura interior y de la piel que en las complejas condiciones exteriores que se van a evaluar (Höppe, 1999). Es similar a la SET.

² A la Standard Effective Temperature (SET) se le conoce como Temperatura Efectiva Estándar (TEE)

³ A la Physiological Equivalent Temperatura (PET) se le conoce como Temperatura Equivalente Fisiológica (TEP).

- Universal Thermal Climate Index (UTCI):⁴ es una temperatura equivalente (°C) y una medida de la respuesta fisiológica humana al entorno térmico. El UTCI describe los intercambios de calor sinérgicos entre el entorno térmico y el cuerpo humano, a saber, su presupuesto energético, fisiología y ropa. Tiene en cuenta la adaptación de la ropa en respuesta a la temperatura ambiental real. Hay cuatro variables necesarias para calcularla: temperatura del aire a 2 m, temperatura del punto de rocío a 2 m (o humedad relativa), velocidad del viento a 10 m sobre el nivel del suelo y temperatura radiante media (MRT) (Climate ADAPT, 2021).
- Modelos dinámicos: enfoques emergentes, como los de investigaciones recientes, combinan el PVM con elementos adaptativos para entornos híbridos (p.ej., edificios con ventilación mixta) (Yao et al., 2022). Estos consideran condiciones transitorias, como las olas de calor de corta duración.

Figura 7.13. Representación del confort de una persona con mochila y corriendo.



Nota: carga térmica ambiental calculada mediante análisis transitorio de convección, conducción y radiación. Thermo Analytics. <https://www.thermoanalytics.com/human-effectiveness>

⁴ Al Universal Thermal Climate Index (UTCI) se le conoce como Índice Climático Térmico Universal

Confort térmico resiliente

El concepto “confort térmico resiliente”, aunque aún no cuenta con una definición formal en la literatura, se construye a partir de la convergencia entre los enfoques de confort térmico adaptativo y las estrategias de resiliencia arquitectónica. Como mencionan Tao et al. (2025), el concepto de resiliencia térmica en los edificios se refiere a su capacidad para mantener un ambiente térmico interior seguro y confortable para los ocupantes durante todo su ciclo de vida, particularmente durante eventos climáticos extremos causados por el cambio climático o interrupciones en los sistemas del edificio debido a fallas técnicas o cortes de energía. Su objetivo es optimizar la experiencia térmica en los edificios, integrando adaptación y resistencia frente a condiciones cambiantes, garantizando la supervivencia y el bienestar de los ocupantes.

Las características principales del confort térmico resiliente son:

- Estrategias térmicas pasivas
- Adaptabilidad climática
- Diseño inclusivo (edad y género)
- Dependencia mínima a sistemas mecánicos de climatización

Los beneficios del confort térmico resiliente son:

- Independencia energética
- Entorno térmico más estable
- Reducción del riesgo
- Protección a la salud
- Resiliencia a largo plazo

En síntesis, arquitectura bioclimática = herramientas de diseño pasivo; confort térmico resiliente = objetivo de habitabilidad. La combinación de ambos conceptos constituye una estrategia de adaptación y supervivencia que reduce la vulnerabilidad y aumenta la capacidad de recuperación.

Conclusiones y recomendaciones

Hacia una arquitectura de la resiliencia

La arquitectura bioclimática representa una estrategia fundamental para la construcción de resiliencia climática en Veracruz. La integración de principios bioclimáticos con enfoques de resiliencia puede generar modelos habitacionales que no solo respondan a las condiciones climáticas normales, sino que también mantengan su funcionalidad durante eventos extremos.

Perspectivas futuras

La investigación en arquitectura bioclimática resiliente debe evolucionar hacia:

- Sistemas adaptativos: viviendas que puedan modificar su comportamiento térmico según las condiciones climáticas, tanto presentes como futuras.
- Integración tecnológica: combinación de estrategias pasivas con tecnologías apropiadas.
- Escalamiento urbano: aplicación de principios bioclimáticos a nivel de barrio y ciudad, tanto para viviendas existentes, como para nuevas.
- Monitoreo continuo: sistemas de evaluación del desempeño a largo plazo, que permitan realizar cambios y ajustes en las estrategias propuestas.

Referencias

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2023). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2023: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*.
- Center for the Built Environment. (2023, 15 de marzo). *Adaptive Comfort model*. <https://cbe.berkeley.edu/research/adaptive-comfort-model/>
- Climate ADAPT. (2021). Índices de comandos térmicos — Índice climático termal universal,

- 1979-2020. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/es/metadata/indicators/thermal-comfort-indices-universal-thermal-climate-index-1979-2019>
- Commonwealth of Australia and the States and Territories of Australia. (2020). *Scenario for a performance solution: Adaptive Thermal Comfort and Predicted Mean Vote (PMV)*. <https://www.abcb.gov.au/sites/default/files/resources/2022/PBDS-Adaptive-thermal-comfort-PMV.pdf>
- Elaouzy, Y., y El Fadar, A. (2022). A multi-level evaluation of bioclimatic design in Mediterranean climates. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102124. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102124>
- Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., y Rockström, J. (2010). Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability. *Ecology and Society*, 15(4). <http://www.jstor.org/stable/26268226>
- Fuentes, V. (2004). *Clima y Arquitectura*. UAM-Azcapotzalco.
- Gambo, M. (2023, 15 de agosto). Enhancing climate adaptation: The role of climate resilient housing in Africa's cities. *Brookings*. <https://www.brookings.edu/articles/enhancing-climate-adaptation-the-role-of-climate-resilient-housing-in-africas-cities/>
- Gamio, L., Levitt, Z., Shao, E., y Khurana, M. (2026, 6 de enero). Global Heat Forecast: Tracking high temperatures across the world. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/interactive/2025/world/global-heat-wave-map-tracker.html#>
- Garzón, B. (2007). *Arquitectura Bioclimática*. Nobuko.
- Goodell, J. (2023). *The Heat Will Kill You First: Life and Death on a Scorched Planet*. Hachette UK.
- Guenther, S. (2024, 11 de marzo). What is PMV? What is PPD? The Basics of Thermal Comfort. *Simscale*. <https://www.simscale.com/blog/what-is-pmv-ppd/>
- Gutterman, S. (2024, 19 de septiembre). Benefits of Resilient Building. *Green Builder: Building a Better World*. <https://www.greenbuildermedia.com/blog/benefits-of-resilient-building>
- Höppe, P. (1999). The Physiological Equivalent Temperature – A Universal Index for the Biometeorological Assessment of the Thermal Environment. *International Journal of Biometeorology*, 43, 71-75.
- International Organization for Standardization (ISO). (2005). Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria (ISO 7730:2005).
- Jenkins, M. (2019, 26 de agosto). What is ASHRAE 55? Basics of Thermal Comfort. *SimScale Blog*. <https://www.simscale.com/blog/what-is-ashrae-55-thermal-comfort/>
- Jonker, A., y McGrath, A. (2025, 17 de noviembre). Climate Resilience. IBM. <https://www.ibm.com/think/topics/climate-resilience>
- Koenigsberger, O., Ingersoll, T., Mayhew, A., y Szokolay, S. (1975). *Manual of Tropical Housing and Building*. Universities Press.
- Mayorga, J. (2012). *Arquitectura y confort térmico. Teoría, cálculo y ejercicios*. Plaza y Valdés.
- Orosa, J., y Oliveira, A. (2010). A new thermal comfort approach comparing adaptive and PMV models. *Renewable Energy*, 36, 951-956.
- OSHWiki, European Agency for Safety and Health at Work. (2013, 6 de junio). Thermal risks. <https://oshwiki.osha.europa.eu/en/themes/thermal-risks>

- Passipedia. (2019, 20 de marzo). *Adaptive versus Heat Balance Comfort Models*. https://passipedia.org/basics/building_physics__basics/thermal_comfort/heat_balance_vs_comfort_models
- Rodríguez, D. (2014). El derecho a la vivienda y fallidas estrategias posdesastre en México. *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, 43(3). <https://doi.org/10.4000/bifea.5917>
- Tao, M., Gou, Z., y Ma, N. (2025). Assessment of thermal comfort and thermal resilience in dwellings during heat waves: A case study of a near-zero energy house. *Journal of Building Engineering*, 109, 113052. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2025.113052>
- Tartarini, F., y Schiavon, S. (2020). CBE Thermal Comfort Tool: Online tool for thermal comfort calculations and visualizations. *SoftwareX*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100563>
- UK Green Building Council. (2025). *The UK Climate Resilience Roadmap*.
- Wikipedia contributors. (2026, 4 de enero). Köppen climate classification. https://en.wikipedia.org/wiki/K%C3%B6ppen_climate_classification#/media/File:K%C3%B6ppen-Geiger_Map_v2_World_1991%E2%80%932020.svg
- Yao, R., Shaoxing, Z., Du, C., Schweiker, M., Hodder, S., Olesen, B. W., et al. (2022). Evolution and performance analysis of adaptive thermal comfort models – A comprehensive literature review. *Building and Environment*, 217, 109020. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109020>