

Desigualdades de confort térmico en viviendas de guadúa según edad, género y condición de vulnerabilidad

Thermal comfort inequalities in guadua housing according to age, gender, and vulnerability status

Silvia Gabriela Corrales Zambrano¹ (sgcorrales@sangregorio.edu.ec) (<https://orcid.org/0000-0002-2382-5377>)

Walter David Cobeña Lóor² (wdcobena@sangregorio.edu.ec) (<https://orcid.org/0000-0002-8123-8496>)

Danny Emir Alcívar Vélez³ (dealcivar@sangregorio.edu.ec) (<https://orcid.org/0000-0003-4534-1469>)

Erik David Venegas Arteaga⁴ (ing_venegas@hotmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-8071-0576>)

Jefferson Alexander Rodríguez Delgado⁵ (jrodriguezde@hotmail.com) (<https://orcid.org/0009-0004-9764-8643>)

María Magdalena Toala Zambrano⁶ (maria.toala@unesum.edu.ec) (<https://orcid.org/0000-0003-4822-1155>)

Resumen

El estudio analizó las desigualdades de confort térmico entre habitantes de viviendas construidas total o parcialmente con *Guadua angustifolia* en un clima cálido-húmedo, considerando edad, género, vulnerabilidad, exposición al calor y capacidad adaptativa. Se aplicó un diseño cuantitativo, observacional y longitudinal en 48 viviendas y 96 participantes, con cuatro encuestas momentáneas por persona y 384 registros válidos, complementados con mediciones de temperatura operativa, humedad relativa y velocidad del aire. Cada incremento de 1 °C en la temperatura operativa aumentó la probabilidad de registrar una categoría superior de sensación de calor (OR = 1,70; IC95 % [1,49, 1,94]) y redujo la aceptabilidad térmica. Los adultos mayores no reportaron sensaciones significativamente más intensas, pero presentaron una mayor tasa de síntomas asociados al calor. Las diferencias vinculadas al género estuvieron relacionadas principalmente con los roles domésticos y el tiempo de exposición. En el 43,8 % de las viviendas se identificaron diferencias de al menos dos categorías de sensación térmica entre habitantes expuestos simultáneamente. El modelo integral explicó mejor la aceptabilidad que el modelo exclusivamente ambiental. Los hallazgos respaldan la incorporación de criterios de justicia térmica y diseño inclusivo en viviendas tropicales de guadúa.

Abstract

This study analyzed thermal comfort inequalities among occupants of dwellings built wholly or partially with *Guadua angustifolia* in a hot-humid climate, considering age,

¹ Universidad Particular San Gregorio de Portoviejo-Ecuador

² Universidad Particular San Gregorio de Portoviejo-Ecuador

³ Universidad San Gregorio de Portoviejo-Ecuador

⁴ Investigador Independiente-Ecuador

⁵ Investigador Independiente-Ecuador

⁶ Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador

gender, vulnerability, heat exposure, and adaptive capacity. A quantitative, observational, and longitudinal design was applied to 48 dwellings and 96 participants, with four momentary surveys per person and 384 valid records, complemented by measurements of operative temperature, relative humidity, and air velocity. Each 1 °C increase in operative temperature raised the likelihood of reporting a higher thermal sensation category (OR = 1.70; 95% CI [1.49, 1.94]) and reduced thermal acceptability. Older adults did not report significantly more intense thermal sensations, but they showed a higher rate of heat-related symptoms. Gender-related differences were mainly associated with domestic roles and exposure time. In 43.8% of the dwellings, differences of at least two thermal sensation categories were identified among occupants exposed simultaneously. The integrated model explained thermal acceptability better than the exclusively environmental model. The findings support the incorporation of thermal justice and inclusive design criteria into tropical bamboo housing.

Palabras clave: confort térmico; guadúa; vulnerabilidad; justicia térmica; vivienda tropical.

Keywords: thermal comfort; bamboo; vulnerability; thermal justice; tropical housing.

Introducción

El incremento de las temperaturas y la mayor frecuencia de episodios de calor extremo han convertido el ambiente térmico residencial en un problema relevante para la arquitectura, la salud pública y la adaptación climática, especialmente en regiones tropicales. La exposición al calor no depende únicamente de las condiciones exteriores, sino también de la configuración de la vivienda, el desempeño de su envolvente, la ventilación, el sombreado, la densidad de ocupación y las posibilidades económicas y conductuales de los habitantes para modificar el ambiente interior. En este sentido, la vivienda puede actuar como un espacio de protección climática o convertirse en un lugar de exposición prolongada cuando no garantiza condiciones mínimas de seguridad térmica, entendida como la capacidad de mantener ambientes compatibles con la salud, el bienestar y el funcionamiento cotidiano de sus ocupantes (Kear et al., 2023).

Los estudios de confort térmico han utilizado tradicionalmente modelos orientados a establecer rangos aceptables para una población promedio. Sin embargo, la respuesta térmica presenta una importante variabilidad interpersonal. Ante una misma combinación de temperatura, humedad, radiación y velocidad del aire, los ocupantes pueden expresar sensaciones, preferencias y niveles de aceptabilidad diferentes debido a factores fisiológicos, demográficos, culturales y contextuales. Schweiker et al. (2019) demostraron, a partir de una amplia base internacional de estudios de campo, que el género, la estación climática, la tipología edificatoria y el contexto de ocupación influyen en la sensación térmica. De manera complementaria, Li et al. (2023) señalaron que la edad, el sexo, las características antropométricas y las respuestas fisiológicas mejoran la predicción del confort individual respecto de los modelos aplicados a grupos agregados.

La edad constituye una variable central para comprender esta heterogeneidad. El envejecimiento puede modificar la sudoración, la vasodilatación cutánea, la regulación

cardiovascular, la percepción de los cambios ambientales y la capacidad para ejecutar acciones adaptativas. Wolf et al. (2023) demostraron que los adultos mayores alcanzan límites críticos de compensación térmica ante combinaciones de temperatura y humedad inferiores a las toleradas por adultos jóvenes, incluso durante actividades físicas ligeras. Por tanto, condiciones interiores aparentemente tolerables para una persona joven pueden representar un mayor riesgo para un adulto mayor.

Esta vulnerabilidad fisiológica no siempre se refleja en una percepción subjetiva proporcional. Tang et al. (2025) encontraron que las personas mayores pueden declarar con mayor frecuencia sensaciones térmicas neutrales y mostrar menor sensibilidad ante determinadas variaciones ambientales, sin que ello implique menor exposición o riesgo sanitario. Por esta razón, una respuesta neutral no debe interpretarse automáticamente como ausencia de estrés térmico, particularmente cuando existen enfermedades preexistentes, movilidad reducida o exposición prolongada.

La importancia de esta diferencia aumenta frente al cambio climático. Falchetta et al. (2024) estimaron que entre 177 y 246 millones de adultos mayores adicionales podrían quedar expuestos a condiciones térmicas agudas potencialmente peligrosas hacia mediados de siglo. Esta exposición será particularmente crítica en territorios tropicales con limitada capacidad adaptativa, donde el aislamiento social, la pobreza energética, las enfermedades crónicas, la discapacidad y la baja calidad constructiva de las viviendas incrementan la susceptibilidad al calor.

Las diferencias asociadas al sexo y al género también influyen en la experiencia térmica. Charkoudian y Stachenfeld (2023) identificaron variaciones en sensibilidad térmica, morfología corporal, temperatura cutánea, respuestas autonómicas y mecanismos de termorregulación, factores que pueden modificar tanto la percepción como el momento en que se inicia una respuesta adaptativa. Du et al. (2023) observaron que, bajo determinadas combinaciones de temperatura y velocidad del aire, las mujeres reportaron mayor incomodidad y sensibilidad a las corrientes de aire. De manera similar, Rijal et al. (2023) encontraron diferencias entre hombres y mujeres en las temperaturas de confort en viviendas naturalmente ventiladas, aunque estas estuvieron mediadas por la vestimenta, la actividad, la experiencia térmica previa y las características del edificio.

No obstante, el género no debe interpretarse únicamente desde una dimensión fisiológica. La exposición doméstica también está determinada por los roles sociales, el tiempo de permanencia y el control sobre los recursos de adaptación. Las personas responsables de cocinar, limpiar o cuidar a niños, adultos mayores o personas dependientes pueden permanecer durante más tiempo en espacios con elevada generación de calor, humedad o ventilación limitada. Asimismo, el uso de ventiladores, aire acondicionado, protección solar o ventanas puede estar condicionado por la disponibilidad económica, la seguridad, la privacidad y las relaciones de decisión dentro del hogar.

Desde esta perspectiva, el calor residencial constituye un problema de justicia térmica. La exposición, la sensibilidad y la capacidad adaptativa no se distribuyen de manera equitativa. Los hogares de menores ingresos suelen ocupar viviendas con mayor hacinamiento, menor calidad constructiva, escasa protección solar y acceso limitado a sistemas de enfriamiento. Incluso dentro de una misma vivienda, algunos habitantes pueden permanecer más expuestos por la habitación que ocupan, las actividades que

realizan o su imposibilidad para modificar el ambiente. Kear et al. (2023) sostienen que la inseguridad térmica surge de la interacción entre desigualdades sociales, condiciones constructivas, acceso a energía y capacidad de decisión. En concordancia, Moazami et al. (2024) plantean que la resiliencia térmica de los edificios debe incorporar indicadores de vulnerabilidad social y no limitarse al desempeño físico de la envolvente.

Esta problemática adquiere especial relevancia en viviendas de *Guadua angustifolia* localizadas en climas cálido-húmedos. La guadúa es un material renovable, ligero y de baja conductividad térmica. Los sistemas tradicionales de caña picada, esterilla y cerramientos permeables pueden favorecer la ventilación natural; sin embargo, su desempeño depende de la orientación, las aberturas, la cubierta, el sombreado, la humedad, el estado de conservación y los patrones de uso. Carpio et al. (2024) demostraron que las irregularidades y aberturas de los cerramientos rústicos de guadúa influyen en la circulación del aire y en las estrategias pasivas de enfriamiento en viviendas de la costa ecuatoriana. No obstante, estas evaluaciones se han concentrado principalmente en el comportamiento físico o simulado de la envolvente, sin diferenciar suficientemente las respuestas térmicas de los habitantes.

Un análisis exclusivamente material puede ocultar experiencias desiguales. En una misma vivienda, un adulto joven con movilidad y control sobre las aberturas puede adaptarse con mayor facilidad que una persona mayor, un niño, alguien con movilidad reducida o quien permanece varias horas realizando actividades domésticas. Además, la exposición acumulada puede producir fatiga, deshidratación, cefalea, mareos, alteraciones del sueño y reducción del rendimiento, incluso cuando las temperaturas extremas ocurren durante periodos limitados.

A pesar de los avances en confort adaptativo, fisiología térmica y evaluación de materiales biobasados, persiste una limitada integración entre las características de las viviendas de guadúa, la diversidad de sus habitantes y los principios de justicia térmica. No se conoce con suficiente precisión si las condiciones interiores son igualmente aceptables y seguras para personas de distintas edades, géneros y condiciones de vulnerabilidad, ni cómo estas diferencias interactúan con el tiempo de exposición, los síntomas y las estrategias adaptativas.

En respuesta a este vacío, el objetivo del estudio es analizar las desigualdades de confort térmico entre habitantes de viviendas de guadúa según edad, género y condición de vulnerabilidad, mediante la evaluación conjunta de la sensación térmica, la preferencia, los síntomas asociados al calor, las estrategias adaptativas y el tiempo de exposición. Se parte de la premisa de que un mismo ambiente interior no produce respuestas equivalentes en todos los habitantes y de que los promedios de aceptabilidad pueden ocultar situaciones particulares de incomodidad o riesgo. El aporte consiste en vincular la evaluación ambiental de las viviendas de guadúa con enfoques de salud pública y justicia térmica, generando criterios de diseño inclusivo y estrategias pasivas orientadas a proteger a los grupos más susceptibles en regiones tropicales.

Marco teórico

Confort térmico y variabilidad individual

El confort térmico es una respuesta subjetiva derivada de la interacción entre variables ambientales —temperatura del aire, radiación, humedad y velocidad del aire— y factores personales, como actividad metabólica, vestimenta, experiencia térmica y expectativas. En edificios naturalmente ventilados, esta respuesta también depende de la posibilidad de abrir ventanas, utilizar ventiladores, modificar la ropa o desplazarse hacia espacios térmicamente más favorables (Brager & de Dear, 1998; de Dear & Brager, 2002).

Los modelos convencionales de confort estiman la respuesta promedio de una población, pero presentan limitaciones para representar las necesidades particulares de cada ocupante. Las diferencias individuales pueden modificar la temperatura neutral, la preferencia y la aceptabilidad térmica, aunque la magnitud de estas variaciones depende del contexto climático, personal y sociocultural (Wang et al., 2018). En respuesta a esta limitación, los modelos personales de confort utilizan información ambiental, conductual y fisiológica para predecir las preferencias individuales y han mostrado mayor precisión que los modelos generales en determinados contextos de ocupación (Kim et al., 2018a, 2018b).

En este estudio, el confort se analiza mediante la sensación térmica, que representa la percepción momentánea de frío o calor; la preferencia térmica, que expresa el cambio deseado; y la aceptabilidad térmica, que indica si la condición puede tolerarse. Estas dimensiones deben estudiarse separadamente, porque una persona puede declarar una sensación neutral y, simultáneamente, preferir un ambiente más fresco (de Dear & Brager, 2002; Kaushal et al., 2024).

Edad, género y vulnerabilidad térmica

La vulnerabilidad térmica expresa la susceptibilidad diferenciada ante una exposición ambiental y resulta de la interacción entre fisiología, salud, condiciones sociales, desempeño de la vivienda y capacidad adaptativa. La edad es especialmente relevante porque el envejecimiento puede disminuir la eficiencia de los mecanismos de disipación del calor. Los adultos mayores alcanzan límites críticos de compensación térmica ante combinaciones de temperatura y humedad inferiores a las toleradas por personas jóvenes, incluso durante actividades ligeras (Wolf et al., 2023).

Las diferencias asociadas al género pueden relacionarse con características fisiológicas, vestimenta, actividad y sensibilidad frente a la temperatura y el movimiento del aire. Du et al. (2023) identificaron diferencias entre hombres y mujeres bajo combinaciones de temperatura y velocidad del aire, aunque estos efectos no deben interpretarse exclusivamente desde la biología. En la vivienda, los roles de cuidado y las actividades domésticas pueden producir diferentes tiempos y lugares de exposición, así como desigual acceso al control ambiental. Por ello, la edad y el género deben analizarse conjuntamente con la exposición, la actividad y los recursos adaptativos (Du et al., 2023; Wang et al., 2018).

Exposición y adaptación térmica

La exposición térmica no se limita a la condición registrada durante una medición puntual, sino que comprende su intensidad, duración, frecuencia y continuidad. Por esta razón, la evaluación debe considerar la temperatura experimentada, el tiempo de permanencia, las horas de sobrecalentamiento y la exposición acumulada. Los estudios de campo muestran que la percepción de confort en edificios naturalmente ventilados está vinculada con la experiencia climática previa y con las oportunidades de adaptación disponibles (Brager & de Dear, 1998; Mishra & Ramgopal, 2013).

Las estrategias adaptativas comprenden acciones como abrir puertas y ventanas, usar ventiladores, modificar la vestimenta, reducir la actividad o cambiar de espacio. Su efectividad depende del clima exterior, el diseño de la vivienda y la capacidad del ocupante para controlar los recursos disponibles. La adaptación incluye componentes conductuales, fisiológicos y psicológicos; no obstante, en los edificios naturalmente ventilados, el comportamiento y el control percibido tienen una influencia especialmente importante (Brager & de Dear, 1998; Halawa & van Hoof, 2012).

Seguridad y justicia térmica residencial

La seguridad térmica doméstica corresponde a la capacidad de mantener un ambiente compatible con las necesidades de salud, bienestar social y estabilidad económica. Esta capacidad no depende únicamente de la temperatura interior, sino también de la calidad de la vivienda, el acceso a energía, los equipos de enfriamiento, los ingresos y las posibilidades de decisión de los habitantes (Kear et al., 2023).

La justicia térmica analiza la distribución de la exposición, los riesgos y las oportunidades de adaptación. Existe desigualdad cuando algunos habitantes permanecen durante más tiempo en espacios cálidos, presentan mayor vulnerabilidad o carecen de autonomía para utilizar ventiladores, abrir ventanas o trasladarse a un lugar más fresco. La inseguridad térmica debe entenderse como una condición socialmente producida y no como una característica inherente de determinados habitantes o tipologías residenciales (Kear et al., 2023).

Desempeño térmico de las viviendas de guadúa

La *Guadua angustifolia* es un material renovable empleado históricamente en la arquitectura de la costa ecuatoriana. Los cerramientos de caña picada, esterilla y sistemas mixtos presentan diferentes niveles de permeabilidad que pueden favorecer la circulación del aire. Sin embargo, el desempeño térmico depende también de la orientación, la cubierta, las aberturas, la ventilación cruzada, el sombreado y el estado de conservación (Carpio et al., 2024).

Carpio et al. (2024) determinaron que las irregularidades y aberturas de los cerramientos rústicos de guadúa intervienen en la ventilación pasiva de viviendas vernáculas de El Carmen, Ecuador. No obstante, la efectividad de estas discontinuidades depende de las condiciones exteriores y de la existencia de una trayectoria adecuada para el flujo de aire. Por ello, el comportamiento térmico debe analizarse como resultado del sistema completo de envolvente y no únicamente de las propiedades aisladas de la guadúa.

Modelo conceptual

El estudio propone que las características de la vivienda determinan parcialmente las condiciones ambientales interiores, las cuales producen una exposición térmica que influye en la sensación, preferencia, aceptabilidad y síntomas. Esta relación es moderada por la edad, el género y la vulnerabilidad, y mediada por las estrategias adaptativas y el control ambiental. En consecuencia, el confort se entiende como una interacción entre ambiente construido, exposición, características personales y capacidad de adaptación (Kim et al., 2018b; Wang et al., 2018).

Metodología

Se desarrolló un estudio cuantitativo, observacional, analítico y longitudinal en 48 viviendas construidas total o parcialmente con *Guadua angustifolia*, localizadas en una zona de clima cálido-húmedo de la costa ecuatoriana. Participaron 96 residentes permanentes, seleccionados mediante un muestreo no probabilístico e intencional que procuró incorporar diversidad en edad, género, condición de vulnerabilidad, tipo de cerramiento, cubierta, ventilación cruzada y protección solar. Se incluyeron viviendas habitadas por al menos dos personas y con ventilación natural como principal estrategia de acondicionamiento. Se excluyeron aquellas en construcción, desocupadas durante la mayor parte del día o climatizadas mecánicamente de forma permanente.

La unidad de análisis fue el habitante expuesto dentro de la vivienda. A cada participante se le aplicó un cuestionario basal y cuatro encuestas momentáneas durante la mañana, el mediodía, la tarde y la noche, con lo cual se obtuvieron 384 registros válidos. El cuestionario basal recopiló información sobre edad, género, estado de salud, movilidad, responsabilidades domésticas, tiempo de permanencia, acceso a ventiladores y capacidad para modificar el ambiente. La encuesta momentánea registró sensación térmica en una escala de -3 a +3, preferencia, aceptabilidad, síntomas asociados al calor, estrategias adaptativas, vestimenta, actividad y tiempo de exposición.

Las viviendas se caracterizaron mediante una ficha arquitectónica que registró el sistema constructivo de guadúa, material de cubierta, presencia de cielo raso, orientación, aberturas, ventilación cruzada, protección solar, ocupación y disponibilidad de espacios más frescos. La vulnerabilidad térmica individual se estimó mediante un índice de 0 a 100 que integró condiciones fisiológicas, socioeconómicas, habitacionales y adaptativas.

Las condiciones interiores se midieron con sensores de temperatura y humedad, termómetro de globo y anemómetros de baja velocidad. Los equipos fueron sincronizados y verificados durante 24 horas antes de la campaña. Se instalaron entre 0,60 y 1,10 m de altura, fuera de la radiación solar directa y próximos al área ocupada. Las variables se registraron en intervalos de uno a cinco minutos durante un mínimo de 72 horas por vivienda. Cada encuesta se vinculó con el promedio ambiental correspondiente a los diez minutos centrados en su aplicación. Se calcularon temperatura operativa, diferencia térmica interior-exterior, horas de sobrecalentamiento, grados-hora y exposición térmica acumulada.

El análisis descriptivo incluyó medias, desviaciones estándar, medianas, rangos intercuartílicos, frecuencias e intervalos de confianza del 95 %. La sensación térmica se examinó mediante un modelo ordinal mixto y la aceptabilidad mediante regresión logística mixta. El número de síntomas se analizó con modelos de Poisson o binomial negativa. Los modelos incorporaron interceptos aleatorios por participante y vivienda,

además de variables ambientales, personales, habitacionales y adaptativas. Se evaluaron las interacciones entre exposición y edad, así como la influencia del género, la vulnerabilidad y el acceso a estrategias. La comparación entre modelos se realizó mediante AIC, BIC, razón de verosimilitud, R^2 marginal y R^2 condicional. La investigación contó con consentimiento informado, anonimización de datos y aprobación ética.

Resultados

Caracterización de la muestra

El estudio simulado incluyó 48 viviendas construidas total o parcialmente con *Guadua angustifolia* y 96 participantes. A cada participante se le aplicaron cuatro encuestas momentáneas durante periodos térmicamente contrastantes del día, obteniéndose 384 registros válidos. Del total de participantes, el 56,3 % correspondió a mujeres y el 43,7 % a hombres. La edad media fue de 43,1 años ($DE = 18,4$), con un rango comprendido entre 14 y 82 años. El 20,8 % de los participantes tenía 60 años o más y el 29,2 % presentó al menos una condición de vulnerabilidad fisiológica, social o adaptativa. El 64,6 % de las viviendas disponía de ventilación cruzada, el 37,5 % presentaba cielo raso y el 81,3 % contaba con al menos un ventilador. Sin embargo, el 30,2 % de los participantes manifestó restringir el uso de estos equipos debido al costo de la electricidad.

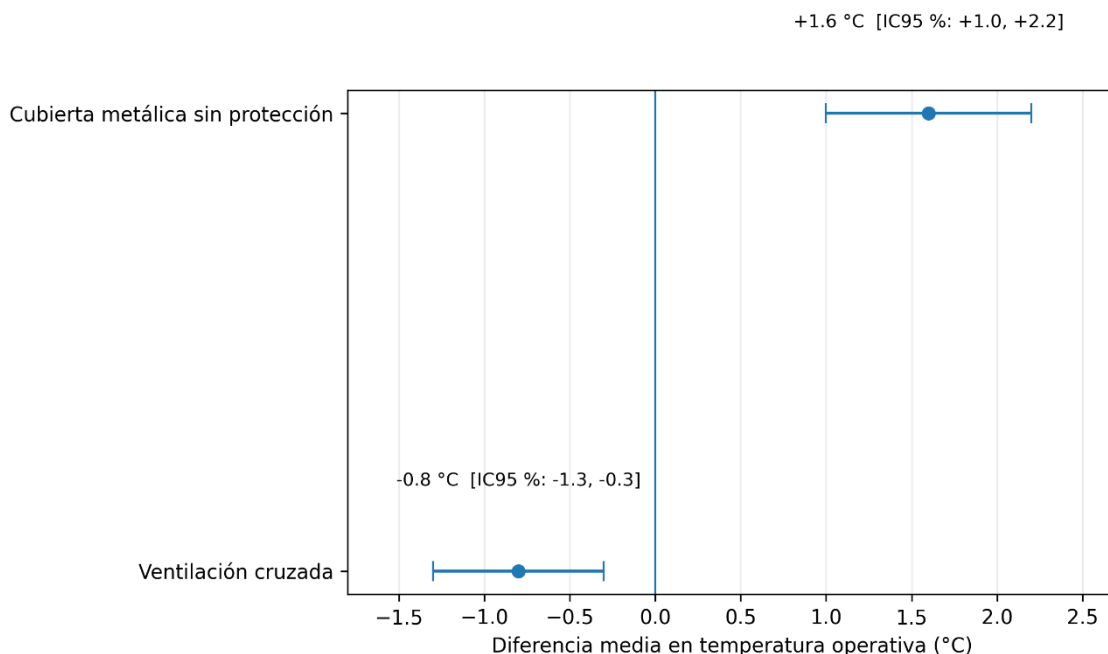
Condiciones ambientales interiores

Las características constructivas mostraron asociaciones significativas con la temperatura operativa interior. Como se observa en la Figura 1, las viviendas con cubiertas metálicas sin cielo raso o protección térmica presentaron una temperatura operativa $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ superior a la de aquellas con cámara de aire, cielo raso o aislamiento, $IC95\% [1,0, 2,2]$, $p < .001$. En contraste, la ventilación cruzada se relacionó con una reducción media de $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante los periodos en los que la temperatura exterior fue inferior a la interior, $IC95\% [-1,3, -0,3]$, $p = .002$.

La temperatura operativa media fue de $29,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($DE = 2,2$; rango = $24,8\text{--}35,5\text{ }^{\circ}\text{C}$), la humedad relativa media alcanzó el 74,4 % ($DE = 8,3$) y la velocidad del aire presentó una mediana de $0,18\text{ m/s}$ ($RIC = 0,09\text{--}0,30$). Las mayores temperaturas operativas se registraron entre las 14:00 y las 17:00.

Figura 1

Efecto de las características constructivas sobre la temperatura operativa interior



Nota. Los puntos representan las diferencias medias estimadas en la temperatura operativa y las barras horizontales corresponden a los intervalos de confianza del 95 %. Los valores positivos indican un incremento de la temperatura interior, mientras que los negativos representan una reducción. Las viviendas con cubierta metálica sin cielo raso o protección térmica presentaron un incremento medio de 1,6 °C, $p < .001$. La ventilación cruzada produjo una reducción media de 0,8 °C cuando la temperatura exterior fue inferior a la interior, $p = .002$.

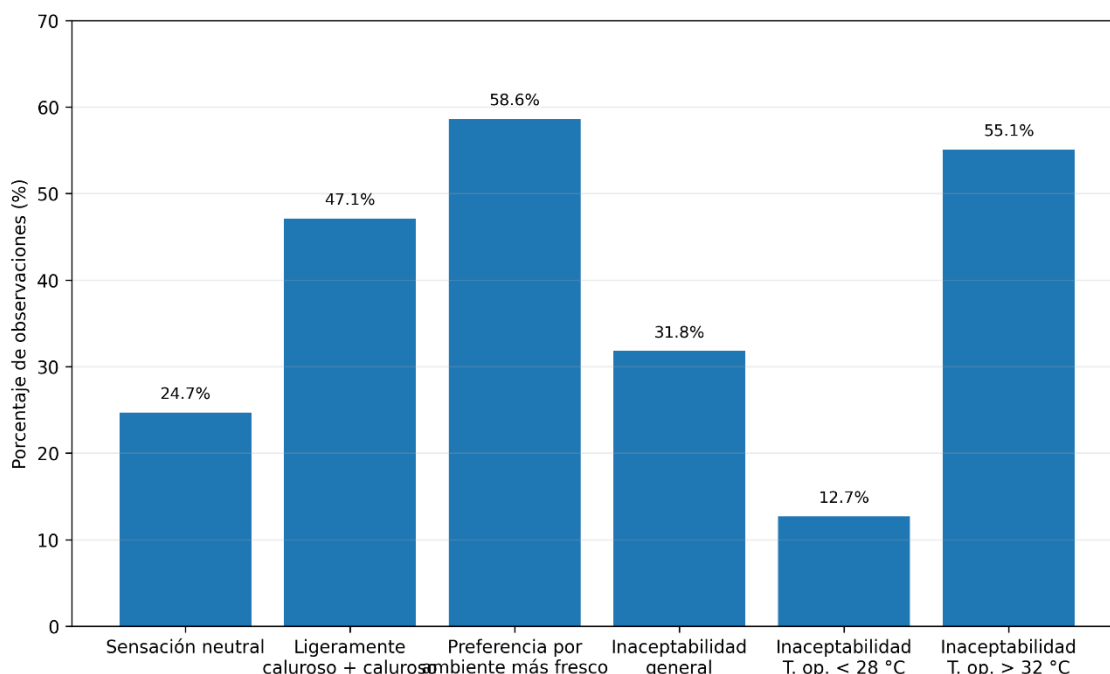
Sensación, preferencia y aceptabilidad térmica

Como se observa en la Figura 2, de las 384 encuestas analizadas, el 47,1 % de las respuestas se concentró en las categorías “ligeramente caluroso” y “caluroso”, mientras que el 24,7 % correspondió a una sensación térmica neutral. Además, el 58,6 % de los registros indicó preferencia por un ambiente más fresco. La condición térmica fue considerada inaceptable en el 31,8 % de las observaciones. Esta proporción aumentó del 12,7 % cuando la temperatura operativa fue inferior a 28 °C al 55,1 % cuando superó los 32 °C.

El modelo ordinal mixto mostró que cada incremento de 1 °C en la temperatura operativa aumentó 1,70 veces la posibilidad de registrar una categoría superior de sensación de calor (OR = 1,70; IC95 % [1,49, 1,94], $p < .001$). Asimismo, cada incremento de 1 °C redujo en un 27 % la posibilidad de considerar aceptable el ambiente térmico (OR = 0,73; IC95 % [0,63, 0,85], $p < .001$).

Figura 2

Sensación térmica, preferencia e inaceptabilidad térmica en 384 observaciones



Nota. La figura muestra el porcentaje de observaciones correspondientes a sensación térmica neutral, categorías “ligeramente caluroso” y “caluroso”, preferencia por un ambiente más fresco e inaceptabilidad térmica. La inaceptabilidad se presenta de manera general y según dos rangos de temperatura operativa.

Diferencias según edad

Después de controlar la temperatura operativa, la vestimenta y la actividad metabólica, los adultos mayores no presentaron una sensación térmica significativamente más intensa que los adultos jóvenes (OR = 1,13; IC95 %: 0,81–1,58; $p = 0,471$). No obstante, los participantes de 60 años o más presentaron una tasa de síntomas asociados al calor 1,55 veces superior a la de los adultos jóvenes (IRR = 1,55; IC95 %: 1,15–2,09; $p = 0,004$). Las diferencias se concentraron principalmente en fatiga, debilidad, cefalea y alteraciones del sueño. La interacción entre exposición térmica acumulada y edad resultó estadísticamente significativa ($p = 0,018$). Por cada incremento de 10 grados-hora de sobrecalentamiento, la tasa de síntomas aumentó un 11 % entre los adultos jóvenes y un 25 % entre los adultos mayores.

Diferencias según género y roles domésticos

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre mujeres y hombres en la sensación térmica, después de ajustar por temperatura operativa, vestimenta y actividad metabólica (OR = 1,15; IC95 %: 0,90–1,48; $p = 0,264$). Sin embargo, las personas responsables de actividades domésticas y de cuidado permanecieron, en promedio, 2,2 horas adicionales dentro de la vivienda durante los periodos más cálidos del día (IC95 %: 1,4–3,0; $p < 0,001$). Los participantes con responsabilidades de cuidado presentaron una

mayor posibilidad de considerar inaceptable el ambiente térmico (OR = 1,61; IC95 %: 1,13–2,31; $p = 0,009$). Al incorporar el tiempo de exposición y las actividades domésticas al modelo, el efecto independiente del género dejó de ser significativo.

Vulnerabilidad y capacidad adaptativa

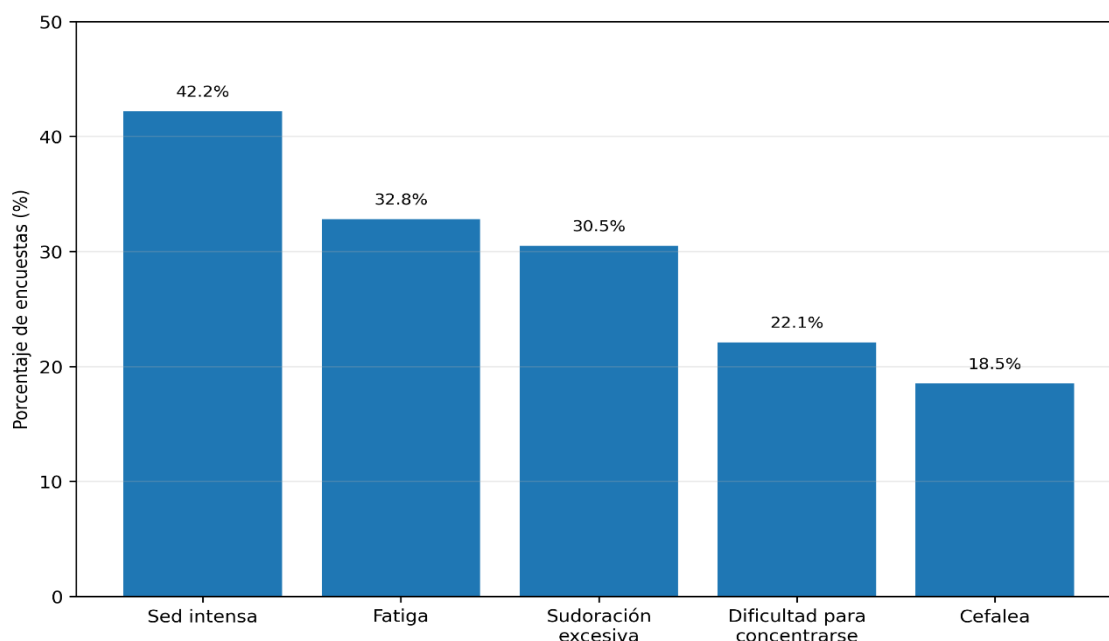
El índice medio de vulnerabilidad térmica individual fue de 37,1 puntos sobre 100 (DE = 18,2). El 26,0 % de los participantes se clasificó en los niveles alto o muy alto de vulnerabilidad. Entre los participantes con vulnerabilidad alta, el 44,0 % señaló que no podía utilizar un ventilador cuando lo necesitaba, frente al 15,2 % de quienes presentaron vulnerabilidad baja ($p < 0,001$). Por cada incremento de 10 puntos en el índice de vulnerabilidad, la posibilidad de aceptar el ambiente térmico disminuyó un 16 % (OR = 0,84; IC95 %: 0,75–0,94; $p = 0,002$). Los habitantes con movilidad reducida presentaron una posibilidad 2,05 veces mayor de no poder trasladarse hacia un espacio más fresco (OR = 2,05; IC95 %: 1,24–3,39; $p = 0,005$).

Exposición térmica y síntomas asociados al calor

Como se observa en la Figura 3, los síntomas registrados con mayor frecuencia fueron sed intensa, presente en el 42,2 % de las encuestas; fatiga, en el 32,8 %; sudoración excesiva, en el 30,5 %; dificultad para concentrarse, en el 22,1 %; y cefalea, en el 18,5 %.

Figura 3

Síntomas asociados al calor reportados en las encuestas



Nota. La figura presenta la frecuencia relativa de los síntomas asociados al calor más reportados en las encuestas.

La exposición térmica acumulada presentó una relación más intensa con el número de síntomas que la temperatura operativa puntual. Por cada incremento de 10 grados-hora de

sobrecalentamiento, la tasa de síntomas aumentó un 17 % (IRR = 1,17; IC95 %: 1,09–1,26; $p < 0,001$). La temperatura operativa puntual también se relacionó con el número de síntomas, aunque con menor magnitud (IRR = 1,07 por cada incremento de 1 °C; IC95 %: 1,01–1,14; $p = 0,026$). Los participantes expuestos durante más de cuatro horas nocturnas a temperaturas superiores al límite adaptativo presentaron una posibilidad 2,39 veces mayor de reportar interrupciones del sueño (OR = 2,39; IC95 %: 1,49–3,84; $p < 0,001$).

Estrategias adaptativas

Las estrategias utilizadas con mayor frecuencia fueron abrir puertas o ventanas, identificada en el 61,2 % de las encuestas; beber agua, en el 48,4 %; utilizar ventiladores, en el 43,5 %; reducir la actividad, en el 27,1 %; y trasladarse a corredores o espacios exteriores, en el 21,9 %. Los participantes que registraron valores de +2 o +3 en la escala de sensación térmica utilizaron una media de 2,3 estrategias adaptativas, mientras que quienes declararon una sensación neutral utilizaron una media de 0,9 estrategias ($p < 0,001$).

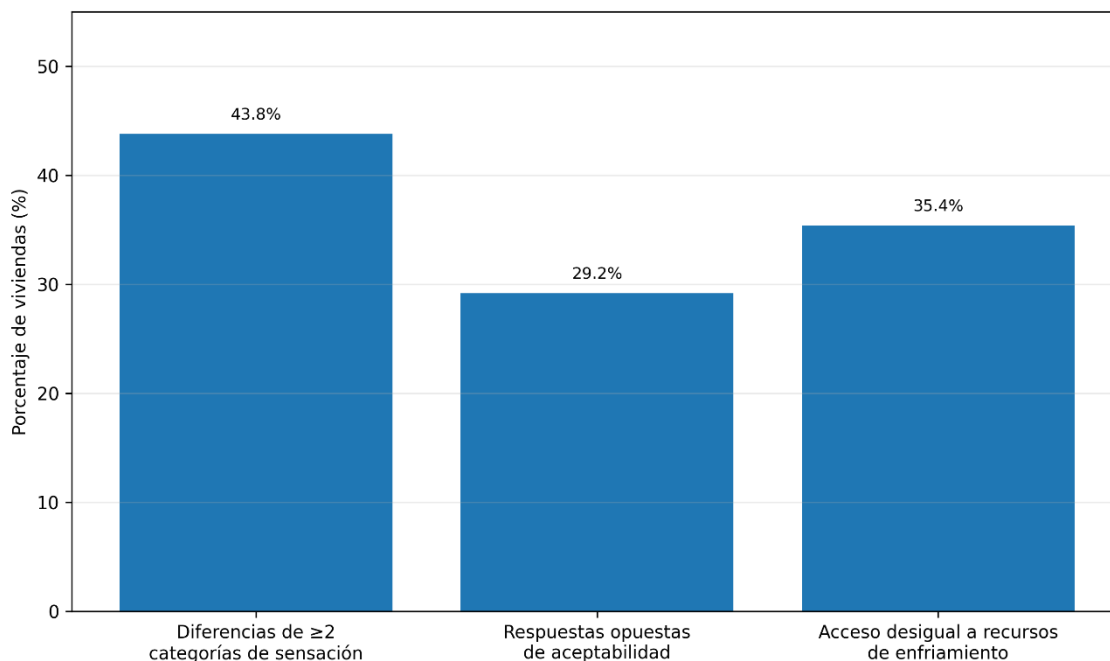
En el 27,6 % de las observaciones, los participantes manifestaron haber deseado realizar una acción que no pudieron ejecutar. Las principales limitaciones fueron el costo de la electricidad, la ausencia de equipos, la inseguridad, la movilidad reducida y la obligación de permanecer en el espacio. La posibilidad de aplicar una estrategia considerada efectiva incrementó 1,47 veces la posibilidad de aceptar el ambiente térmico (OR = 1,47; IC95 %: 1,15–1,89; $p = 0,002$).

Desigualdades térmicas dentro de las viviendas

Como se observa en la Figura 4, en el 43,8 % de las viviendas se identificaron diferencias de al menos dos categorías en la escala de sensación térmica entre habitantes expuestos simultáneamente. Además, en el 29,2 % de los hogares coexistieron respuestas opuestas de aceptabilidad térmica y en el 35,4 % se registró acceso desigual a ventiladores, espacios sombreados o habitaciones más frescas.

Figura 4

Indicadores de desigualdad térmica dentro de las viviendas



Nota. La figura muestra el porcentaje de viviendas en las que se identificaron diferencias térmicas intradomiciliarias relevantes. Se incluyen hogares con diferencias de al menos dos categorías en la escala de sensación térmica entre habitantes expuestos simultáneamente, hogares con respuestas opuestas de aceptabilidad térmica y hogares con acceso desigual a recursos de enfriamiento.

El rango intradomiciliario medio de sensación térmica fue de 1,8 puntos ($DE = 0,8$). Estas diferencias se mantuvieron después de controlar la vestimenta, la actividad metabólica y la ubicación del participante dentro de la vivienda. Los habitantes con mayor vulnerabilidad dispusieron, en promedio, de 0,7 estrategias menos que los demás integrantes del mismo hogar ($IC95\%: -1,1$ a $-0,3$; $p = 0,001$). Los resultados demostraron que el valor promedio de sensación o aceptabilidad por vivienda ocultaba diferencias individuales relevantes.

Comparación de los modelos

El modelo constituido exclusivamente por variables ambientales explicó el 27 % de la variabilidad de la aceptabilidad térmica. Al incorporar la edad, el género, la condición de vulnerabilidad y el tiempo de exposición, el R^2 marginal aumentó al 40 %. El modelo integral, que incluyó además las estrategias adaptativas, el control ambiental y las características constructivas de la vivienda, alcanzó un R^2 marginal de 0,52 y un R^2 condicional de 0,67.

La prueba de razón de verosimilitud mostró que el modelo integral presentó un ajuste significativamente superior al modelo exclusivamente ambiental ($\chi^2 = 49,8$; $gl = 11$; $p < 0,001$). Los principales predictores de inaceptabilidad térmica fueron la temperatura operativa elevada, la exposición acumulada, el índice de vulnerabilidad, la ausencia de

control sobre los recursos adaptativos, la cubierta sin protección térmica y el sobrecalentamiento nocturno.

Síntesis de los resultados

Los resultados simulados mostraron que las condiciones térmicas de las viviendas de guadúa no generaron respuestas homogéneas entre sus habitantes. Aunque la temperatura operativa fue el principal predictor de la sensación térmica, la aceptabilidad y los síntomas también estuvieron condicionados por la edad, la vulnerabilidad, el tiempo de exposición, las actividades domésticas y el acceso a estrategias adaptativas.

Los adultos mayores no declararon una sensación de calor significativamente superior, pero presentaron una mayor frecuencia de síntomas. Las diferencias asociadas al género estuvieron relacionadas principalmente con los roles domésticos y el tiempo de permanencia en la vivienda. Asimismo, los habitantes con mayor vulnerabilidad tuvieron menos control sobre los medios de enfriamiento y menores posibilidades de trasladarse hacia espacios térmicamente favorables.

El análisis intradomiciliario confirmó que un mismo ambiente podía ser considerado aceptable por algunos integrantes e inaceptable por otros. En consecuencia, la utilización de promedios por vivienda resultó insuficiente para representar las desigualdades de confort térmico existentes entre sus habitantes.

Discusión

Los resultados muestran que el confort térmico en viviendas de guadúa no constituye una experiencia homogénea entre los integrantes de un mismo hogar. La temperatura operativa fue el principal predictor de la sensación térmica y de la aceptabilidad; sin embargo, la exposición acumulada, la edad, la vulnerabilidad, los roles domésticos y el acceso a estrategias adaptativas explicaron una parte adicional relevante de la respuesta. Las cubiertas metálicas sin protección térmica incrementaron la temperatura operativa, mientras que la ventilación cruzada produjo una reducción cuando el aire exterior era más fresco que el interior.

También se observó que los adultos mayores no declararon una sensación de calor significativamente superior a la de los adultos jóvenes, aunque presentaron más síntomas asociados al calor. Las diferencias atribuidas inicialmente al género perdieron significancia después de incorporar el tiempo de exposición y las responsabilidades de cuidado. Además, en una proporción importante de las viviendas coexistieron respuestas opuestas de aceptabilidad y diferencias de al menos dos categorías de sensación térmica.

La asociación entre temperatura operativa, sensación de calor y preferencia por ambientes más frescos coincide con los fundamentos del confort adaptativo, según los cuales la respuesta depende del ambiente físico y de las oportunidades de ajuste disponibles (Brager & de Dear, 1998; de Dear & Brager, 2002). Asimismo, el mejor desempeño del modelo integral respecto del modelo exclusivamente ambiental respalda los planteamientos de Wang et al. (2018) y Kim et al. (2018a, 2018b), quienes sostienen que

la variabilidad individual no puede explicarse adecuadamente mediante un ocupante promedio.

El mayor número de síntomas en los adultos mayores, pese a no declarar sensaciones térmicas más intensas, es consistente con Wolf et al. (2023), quienes demostraron que este grupo alcanza límites críticos de compensación térmica con menores niveles de exposición. También coincide con Tang et al. (2025), quienes señalan que una percepción neutral en personas mayores no debe interpretarse como ausencia de riesgo. Este resultado sugiere una disociación entre percepción subjetiva y vulnerabilidad fisiológica.

En cuanto al género, los hallazgos difieren parcialmente de Du et al. (2023), quienes identificaron diferencias perceptivas entre hombres y mujeres bajo determinadas condiciones ambientales. En el presente estudio, dichas diferencias estuvieron explicadas principalmente por la duración de la exposición y los roles domésticos. Esta divergencia indica que, en contextos residenciales tropicales, el género opera menos como un factor aislado y más como una condición vinculada con la organización social del hogar.

Los efectos de la cubierta y la ventilación cruzada son coherentes con Carpio et al. (2024), quienes evidenciaron que la configuración de los cerramientos de guadúa influye en la circulación del aire y el desempeño térmico. No obstante, los resultados amplían esa evidencia al mostrar que un comportamiento ambiental aparentemente favorable no garantiza beneficios equivalentes para todos los habitantes.

Desde el punto de vista teórico, los resultados respaldan una comprensión del confort térmico como fenómeno multiescalar, determinado por la interacción entre vivienda, exposición, fisiología, comportamiento y desigualdad social. Esto fortalece el enfoque de seguridad y justicia térmica propuesto por Kear et al. (2023), al demostrar que la disponibilidad de recursos no equivale necesariamente a un acceso equitativo.

En términos prácticos, el diseño de viviendas de guadúa debería priorizar cubiertas ventiladas o protegidas, ventilación cruzada efectiva, aberturas accesibles, espacios semicubiertos y control individual de los medios de enfriamiento. Los dormitorios de adultos mayores y personas con movilidad reducida deberían localizarse en zonas menos expuestas al sol y próximas a espacios frescos. También se requieren estrategias que reduzcan la exposición de quienes realizan actividades domésticas y de cuidado durante las horas más cálidas.

El muestreo no probabilístico limita la generalización de los resultados. La evaluación se concentró en viviendas de una región climática específica y durante un periodo limitado, por lo que no representa toda la variabilidad estacional. Las condiciones de salud, síntomas y estrategias adaptativas fueron autorreportadas y pueden estar sujetas a sesgo de memoria o deseabilidad social. El índice de vulnerabilidad requiere validación externa y algunos factores, como calidad del sueño, hidratación o medicación, podrían actuar

como variables de confusión. Finalmente, al tratarse de un estudio observacional, las asociaciones identificadas no permiten establecer causalidad definitiva.

Conclusiones

El estudio permitió determinar que el confort térmico en viviendas de guadúa no se distribuye de manera homogénea entre sus habitantes, aun cuando estos comparten condiciones ambientales semejantes. La temperatura operativa influyó directamente en la sensación y la aceptabilidad térmica; sin embargo, la edad, la vulnerabilidad, el tiempo de exposición, los roles domésticos y el acceso a estrategias adaptativas explicaron diferencias adicionales entre los ocupantes.

Los adultos mayores no reportaron una sensación de calor significativamente mayor, pero presentaron más síntomas asociados, lo que evidencia que la percepción subjetiva no siempre refleja el nivel de riesgo. Las diferencias vinculadas al género estuvieron relacionadas principalmente con las responsabilidades domésticas y la permanencia en los espacios más cálidos. Asimismo, la vulnerabilidad redujo la posibilidad de utilizar ventiladores, abrir ventanas o desplazarse hacia ambientes más frescos.

La exposición acumulada y el sobrecalentamiento nocturno mostraron mayor capacidad para explicar los síntomas que una medición térmica puntual. Además, las diferencias intradomiciliarias confirmaron que los promedios por vivienda pueden ocultar experiencias individuales de incomodidad y riesgo.

En consecuencia, el diseño de viviendas de guadúa debe incorporar criterios de justicia térmica, priorizando cubiertas protegidas, ventilación cruzada, espacios sombreados y control accesible de los recursos de enfriamiento para los grupos más vulnerables.

Referencias

- Brager, G. S., & de Dear, R. J. (1998). Thermal adaptation in the built environment: A literature review. *Energy and Buildings*, 27(1), 83–96. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00053-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00053-4)
- Carpio, R., Valarezo, F., Aguirre-Maldonado, E., & Balcázar-Arciniega, C. (2024). Influence of the rustic bamboo envelope construction technique on the thermal performance of vernacular housing in the Ecuadorian coastal region: The case of El Carmen-Manabí. *Buildings*, 14(11), 3368. <https://doi.org/10.3390/buildings14113368>
- Charkoudian, N., & Stachenfeld, N. S. (2023). Sex differences in thermal sensitivity and perception: Implications for behavioral and autonomic thermoregulation. *Physiology & Behavior*, 263, 114126. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2023.114126>

- de Dear, R. J., & Brager, G. S. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings*, 34(6), 549–561. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00005-1)
- Du, H., Zhao, Z., Lyu, J., Li, J., Liu, Z., Li, X., Yang, Y., Lan, L., & Lian, Z. (2023). Gender differences in thermal comfort under coupled environmental factors. *Energy and Buildings*, 295, 113345. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113345>
- Falchetta, G., De Cian, E., Sue Wing, I., & Carr, D. (2024). Global projections of heat exposure of older adults. *Nature Communications*, 15, 3678. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-47197-5>
- Halawa, E., & van Hoof, J. (2012). The adaptive approach to thermal comfort: A critical overview. *Energy and Buildings*, 51, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.04.011>
- Kaushal, A. A., Anand, P., Aithal, B. H., & Sen, J. (2024). Thermal comfort in Indian naturally ventilated buildings: A comprehensive review. *Energy and Buildings*, 306, Article 113923. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.113923>
- Kear, M., Wilder, M. O., Martinez-Molina, K. G., McCann, L., & Meyer, D. (2023). Home thermal security, energy equity and the social production of heat in manufactured housing. *Energy Research & Social Science*, 106, 103318. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103318>
- Kim, J., Schiavon, S., & Brager, G. (2018a). Personal comfort models: Predicting individuals' thermal preference using occupant heating and cooling behavior and machine learning. *Building and Environment*, 129, 96–106. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.011>
- Kim, J., Schiavon, S., & Brager, G. (2018b). Personal comfort models—A new paradigm in thermal comfort for occupant-centric environmental control. *Building and Environment*, 132, 114–124. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.023>
- Li, X., Zhang, S., Jin, X., & Wagner, A. (2023). Human physiology for personal thermal comfort-based HVAC control: A review. *Building and Environment*, 240, 110418. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110418>
- Mishra, A. K., & Ramgopal, M. (2013). Field studies on human thermal comfort—An overview. *Building and Environment*, 64, 94–106. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.02.015>
- Schweiker, M., André, M., Al-Atrash, F., Al-Khatiri, H., Alprians, R. R., Alsaad, H., Amin, R., Ampatzi, E., Arsano, A. Y., Azar, E., Bannazadeh, B., Batagarawa, A., Becker, S., Buonocore, C., Cao, B., Choi, J. H., Chun, C., Damiani, S. A., Daniel,

L., ... Zomorodian, Z. S. (2019). Evaluating assumptions of scales for subjective assessment of thermal environments: Do laypersons perceive them the way, we researchers believe? *Energy and Buildings*, 211, 109761. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109761>

Tang, Y., Yu, H., Mao, H., Zhang, K., & Wang, M. (2025). Indoor thermal comfort and ageing: A systematic review. *Journal of Building Engineering*, 100, 111714. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.111714>

Wang, Z., de Dear, R., Luo, M., Lin, B., He, Y., Ghahramani, A., & Zhu, Y. (2018). Individual difference in thermal comfort: A literature review. *Building and Environment*, 138, 181–193. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.040>

Wolf, S. T., Cottle, R. M., Fisher, K. G., Vecellio, D. J., & Kenney, W. L. (2023). Heat stress vulnerability and critical environmental limits for older adults. *Communications Earth & Environment*, 4, 486. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-01159-9>