

Confort térmico en edificios educativos naturalmente ventilados: un estudio en bioclima templado-seco

Thermal comfort in naturally ventilated educational buildings: a study in temperate-dry bioclimate

Julio César Rincón-Martínez

Universidad Autónoma de Baja California

(<https://ror.org/05xwq167>)

Ensenada (México)

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño

CITE

Rincón-Martínez, J. C. (2023). Confort térmico en edificios educativos naturalmente ventilados: un estudio en bioclima templado-seco. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 25(1), 12-24. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2023.25.3051>

Arquitecto, Universidad Tecnológica de México. Ciudad de México (México).

Maestría y doctorado en arquitectura bioclimática, Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México (México).

Profesor-investigador de tiempo completo, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California (<https://ror.org/05xwq167>) (México).

Investigaciones sobre Arquitectura bioclimática y confort térmico.

<https://uabc.academia.edu/JulioRincon>

<https://scholar.google.com/citations?user=Un0eFwEAAA&hl=es>

<https://orcid.org/0000-0002-1946-3609>

julio.rincon@uabc.edu.mx

Resumen

El bienestar, la eficiencia y el confort de las personas pueden verse afectados por las condiciones adversas del ambiente térmico. En México, los estudios que abordan dicho fenómeno se han desarrollado principalmente en sitios con bioclimas cálidos (seco y húmedo), y hay poca investigación sobre bioclimas templados o semifríos. Este trabajo presenta los resultados de un estudio sobre confort térmico desarrollado con el enfoque adaptativo, en edificios naturalmente ventilados, durante la transición térmica del periodo frío al periodo cálido en Ensenada, Baja California (bioclima templado-seco). El estudio es de tipo correlacional y fue analizado con 987 evaluaciones y el registro simultáneo de la temperatura, la humedad relativa y la velocidad de viento, durante el periodo del 24 de abril al 22 de mayo de 2017. Los cuestionarios aplicados se diseñaron con la ISO 10551 y la ANSI/ASHRAE 55; asimismo, los instrumentos de medición responden a la ISO 7726. Los datos recabados fueron procesados estadísticamente con el método de medias por intervalos de sensación térmica. La temperatura neutra resultó en 20,2°C, con un rango de confort de 17,7°C-22,7°C; los sujetos reflejaron mayor adaptación a temperaturas por encima de la temperatura neutra, a partir del emprendimiento de acciones voluntarias o involuntarias cuyo objetivo se enfocaba en reanudar el confort térmico de forma inmediata.

Palabras clave: calidad ambiental; edificio educativo; percepción del entorno; sensibilización ambiental; zona climática

Abstract

People's comfort, performance and healthy can be affected by the adverse conditions of thermal environment. Thermal comfort phenomenon in Mexico has been studied in different cities with warm (dry and wet), temperate and semi-cold bioclimates. This paper shows thermal results of a study carried out with the adaptive approach from April 24 to May 22, 2017: thermal transition period of cold period to warm period in Ensenada, Baja California. City is located in Mexico's northwest and has a temperate-dry bioclimate. The study was correlational type and was analyzed with 987 evaluations and the simultaneous recording of temperature, relative humidity and wind speed. Used questionnaires were designed based on ISO 10551 and ANSI/ASHRAE 55; and environmental measurement instruments were based on ISO 7726. Data were processed by Averages by Thermal Sensation Intervals method. Neutral Temperature was 20.2°C, with a comfort thermal range 17.7°C to 22.7°C. People showed greater thermal adaptation to conditions above the neutral temperature, taking actions to resume thermal comfort immediately. Analyzed people's thermal comfort was influenced by the thermal history and the actions realized by the people to get the adaptation to thermal environment.

Keywords: climatic zones; environmental awareness; educational buildings; environmental perception; environmental quality

EDIFICIOS EDUCATIVOS BIENESTAR
ZONA CLIMÁTICA TEMPERATURA
CONFORT TÉRMICO
SENSIBILIZACIÓN TRANSICIÓN CALIDAD AMBIENTAL ENTORNO
EFICIENCIA
INSTRUMENTOS MEDICIÓN MÉXICO



<http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2023.25.3051>

Recibido: enero 18 / 2020 Evaluado: diciembre 16 / 2020 Aceptado: julio 7 / 2022

Introducción

El trabajo presentado a continuación forma parte del proyecto de investigación denominado *Confort Térmico en Espacios Interiores: Un Estudio en Bioclima Templado Seco en Ensenada, Baja California*, desarrollado con el financiamiento del Programa para el Desarrollo Profesional Docente para el Tipo Superior (PRODEP), México, con folio UABC-PTC-607, en el marco de la Convocatoria 2016 para Apoyo a la Incorporación de Nuevos Profesores de Tiempo Completo.

Los estudios sobre confort térmico a escala internacional tienen dos líneas generales de análisis: 1) el efecto del ambiente térmico sobre la sensación térmica percibida de los usuarios, y sus implicaciones fisiológicas y psicológicas, y, 2) el ahorro de energía en edificios en función de estrategias que generen condiciones de confort térmico; dichas estrategias pueden ser por diseño o por uso de tecnologías de climatización artificial de tipo electromecánico (Forgiarini-Rupp et al., 2015; Mishra et al., 2016).

El fenómeno del confort térmico es estudiado tanto para espacios interiores como para espacios exteriores. En algunos casos, el estudio se enfoca en viviendas de interés social unifamiliares en México, a partir del flujo del aire (Vázquez-Torres & Gómez-Amador, 2021); viviendas de interés social multifamiliares en Chipre (Ozarisoy & Altan, 2021) y China (Yin et al., 2022), a partir de la percepción térmica de los ocupantes; viviendas unifamiliares residenciales en Australia (Jeong et al., 2022; Terence & Lyrian, 2020); edificios religiosos en clima templado en Estambul (Atmaca & Gedik, 2020), y en la relación entre los procesos fisiológicos de los ocupantes y el espacio habitable (Cihan & Gulden, 2019), por mencionar algunos de los más relevantes medios de difusión científica. Pero pocos son los estudios que se enfocan en estimar el confort térmico en edificios dedicados a la educación: tal es el caso del trabajo de Shrestha et al. (2021), sobre clima templado seco en Nepal, o los estudios desarrollados por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en ocho países, en condiciones térmicas de escuelas primarias; específicamente, con estudiantes de tercer grado (Gargiulo, 2014; Ministerio de Educación, 2015; Proyecto Banco Interamericano de Desarrollo, 2015). En dichos estudios predomina el enfoque de adaptación.

En América destacan los trabajos desarrollados en México, Brasil y Venezuela sobre espacios interiores —principalmente, vivienda— y exteriores (Gómez-Azpeitia et al., 2014; Romero et al., 2013), con el enfoque de adaptación, además de algunos estudios exploratorios por simulación de Oropeza-Pérez et al. (2017).

De acuerdo con Olgay (1963), los efectos generados con la relación medio ambiente-humanos en la salud y las actividades cotidianas de

las personas, se pueden identificar con el estudio propio de ese fenómeno. El desempeño que las personas presentan en sus actividades diarias regularmente se ve influenciado por las condiciones atmosféricas que presenta el día; así, mientras en algunos casos dichas condiciones pueden ser estimulantes para su desarrollo, pero en otros, pueden reprimir los esfuerzos físicos y mentales que permiten realizarlas. En tal sentido, el consumo energético requerido para lograr la adaptación al entorno va en función de las condiciones climáticas del sitio; en calor o frío extremo, el consumo energético es mayor.

El *confort térmico* es definido como la condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico (ISO 7730, 2005), el cual, a su vez, según la American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ANSI/ASHRAE 55, 2017), se determina a partir de evaluaciones subjetivas. De acuerdo con Nikolopoulou y Steemers (2003), la adaptación térmica es el decremento gradual de respuesta del organismo a repetidas exposiciones a estímulos que se reciben de un medio ambiente específico. En ese sentido, la percepción térmica de las personas va en función de las sensaciones físicas y psicológicas que les genera el conjunto de estímulos derivados del ambiente térmico, la actividad desarrollada, el grado de arropamiento, la experiencia (historial térmico) y la expectativa; por ende, la sensación de confort térmico es producto del grado de adaptación que las personas manifiestan en relación con las condiciones del ambiente térmico inmediato.

En un espacio habitable, los parámetros que constituyen el ambiente térmico son de tipo meteorológico, fisiológico, espacial (arquitectónico o natural) y circunstancial (Szokolay, 2004). La temperatura del aire, la temperatura radiante, la humedad relativa y la velocidad de viento forman parte de los parámetros considerados en la primera de las clasificaciones, y son los factores primarios que influyen, principalmente, en la sensación térmica de las personas (ANSI/ASHRAE 55, 2017).

De acuerdo con Humphreys y Nicol (1998), el fenómeno del confort térmico puede ser estudiado a partir del enfoque adaptativo o el enfoque predictivo. Según estos autores (2002), en el primero de los casos el confort térmico está en función de la temperatura media exterior, el tiempo de permanencia en el espacio, el nivel de actividad y las acciones emprendidas para conseguirlo.

Con el tiempo, el cuerpo humano adquiere cierta capacidad de adaptación, debido a las variaciones constantes del ambiente, por lo que puede exponerse a condiciones térmicas extremas, sin protección y por cortos periodos, sin sufrir daño alguno; no obstante, si la exposición es prolongada, el organismo presenta ciertos trastornos y, en consecuencia, su desempeño se

reduce, con el riesgo de sufrir daños duraderos o irreparables en su salud (Ambriz, 2005). En tal sentido, el confort térmico es una condición que permite contribuir al logro de una mayor productividad, un estado de salud prolongado, buenas relaciones interpersonales e, incluso, a incentivar la creatividad de las personas. A tales efectos, el comportamiento humano es un aspecto determinante en la búsqueda y la adquisición del confort térmico. Si se produce un cambio en el ambiente que provoca incomodidad, las personas reaccionan por instinto, a fin de restaurar las condiciones de comodidad (Humphreys & Nicol, 1998).

La temperatura de confort, también conocida como temperatura neutral (T_n), generalmente se obtiene de un análisis de regresión lineal que correlaciona las respuestas dadas por las personas en un estudio de campo (registros subjetivos) y las mediciones de los parámetros ambientales medidos con instrumentos (registros objetivos). Con base en el segundo aspecto es como se ha encontrado la dependencia de la temperatura neutra con la temperatura media exterior, la cual es una relación que se acentúa en edificios ventilados naturalmente (Humphreys, 1978).

Este trabajo presenta los resultados obtenidos con un estudio sobre confort térmico realizado durante la transición térmica del periodo frío al periodo cálido en la ciudad de Ensenada, Baja California, con la comunidad estudiantil de la Universidad Autónoma de Baja California. El estudio forma parte de un proyecto de investigación integral denominado *Confort Térmico en Espacios Interiores: Un Estudio en Bioclima Templado Seco en Ensenada, Baja California*, realizado a partir del enfoque adaptativo durante los periodos

térmicos representativos de un año normalizado. Por lo anterior, los objetivos del presente trabajo de investigación son:

- Presentar los valores estimados para la T_n y los rangos de confort térmico.
- Describir la metodología utilizada, adaptada a las bases del enfoque adaptativo.
- Identificar las acciones de adaptación que las personas emprenden para obtener las condiciones térmicas de confort.
- Comparar los resultados con el modelo matemático de Auliciems & Szokolay (1997), a fin de identificar el grado de validez entre ambas posiciones.

Metodología

El procedimiento metodológico empleado en el presente estudio atendió simultáneamente las bases teóricas del enfoque adaptativo y las sugerencias dadas en la normativa internacional especializada en el fenómeno del confort térmico y el ambiente térmico (ANSI/ASHRAE 55, 2017; ISO 7730, 2005; ISO 8996, 2004; ISO 7726, 1998; ISO 10551, 1995). La metodología se agrupó en siete secciones:

1. Caso de estudio y población blanco.
2. Periodos de estudio.
3. Diseño estadístico de la muestra poblacional.
4. Diseño del instrumento de medición.
5. Variables ambientales y equipo de medición y registro.
6. Aplicación de cuestionarios en sitio.
7. Procesamiento de datos.

Caso de estudio y población blanco

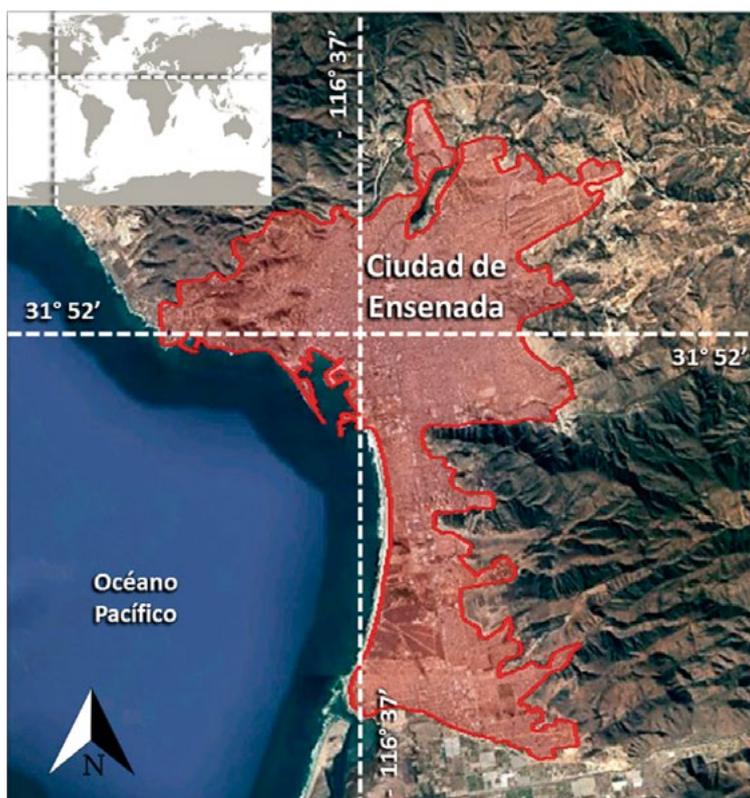
El estudio se realizó en la ciudad de Ensenada, localizada en la costa noroeste del estado de Baja California, México; a 90 km al sur de la frontera con Estados Unidos y con horizonte visual al Océano Pacífico (INEGI, 2009), tal como se muestra en la figura 1.

De acuerdo con la clasificación climática de García (2004) y con la agrupación bioclimática de Fuentes y Figueroa (1990), Ensenada presenta un clima seco extremoso (BS0 ks(e)) y un bioclima templado-seco, respectivamente. En un año normalizado, la temperatura es de 17,3 °C; la humedad relativa, de 75,8%; la precipitación pluvial, de 217,3 mm, y la velocidad del viento, de 2,5 m/s, proveniente del rango suroeste-noroeste (SMN-CONAGUA, 2017).

De acuerdo con el Comité de Planeación para el Desarrollo (COPLADE, 2015), la ciudad de Ensenada tenía una población de 520.000 habitantes para 2015. De ella, el grueso poblacional se concentra en los quinquenios de edad de 15-19 años y de 20-24 años, tal cual se expresa en la figura 2. Los puntos de encuentro en los que se puede visualizar mayor afluencia de jóvenes

Figura 1. Ubicación geográfica y polígono urbano de la ciudad de Ensenada.

Fuente: elaboración propia (2019). CC BY



adultos de dicho grupo etario son los centros de educación de nivel medio superior y nivel superior.

En Ensenada, la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) es la institución pública que aloja al 60% de la matrícula estudiantil de educación superior. Por ello, la población blanco atendida en el presente estudio corresponde a la comunidad estudiantil de la UABC compuesta por jóvenes adultos de entre 18 y 23 años, con actividad sedentaria (1,2 met, de acuerdo con la ISO 8996, 2004) y una resistencia térmica por arropamiento de 1,0 clo (ANSI/ASHRAE 55, 2017), en promedio; son habitantes de espacios interiores naturalmente ventilados. La estratificación de la muestra poblacional estudiada según sus características físicas se presenta en la figura 3.

Periodo de estudio

El periodo de estudio correspondió a la transición térmica (mayo) entre el periodo frío (febrero) y el periodo cálido (agosto) de un año normalizado en la ciudad, por lo que el estudio se desarrolló del 24 de abril al 22 de mayo de 2017. Las condiciones climáticas promedio para dicho periodo son: temperatura máxima, media y mínima de 20,4°C, 17,1°C y 13,7°C, respectivamente; humedad relativa máxima, media y mínima del 90,9%, el 78,1% y el 63,0%, respectivamente; precipitación total de 7,1 mm, y velocidad de viento de 2,7 m/s del suroeste.

Diseño estadístico de la muestra poblacional

La muestra poblacional se diseñó con un nivel de confianza del 95% y un intervalo de confianza del 5%. Con lo anterior, la muestra diseñada correspondió a 383 personas; sin embargo, durante el mismo periodo fue posible recabar 987 observaciones, de las cuales 872 consiguieron el grado de certidumbre necesario para realizar el procesamiento de datos (476 mujeres y 396 hombres).

Diseño del instrumento de medición

El cuestionario fue diseñado en seis secciones y 37 preguntas, como se muestra en las figuras 4 y 5. Las preguntas relacionadas con la sensación térmica del ambiente se basaron en la escala subjetiva de siete puntos contenida en la ISO 10551 (International Organization for Standardization, 1995) y la ANSI/ASHRAE 55 (2017), y fue adaptada como se indica en la tabla 1.

Las secciones consideradas en la estructura del cuestionario fueron las siguientes:

- A. Datos de control
- B. Sensación del ambiente interior del espacio
- C. Información del participante
- D. Preferencia del ambiente interior del espacio
- E. Información del espacio
- F. Información complementaria

PIRÁMIDE POBLACIONAL DE ENSENADA 2015

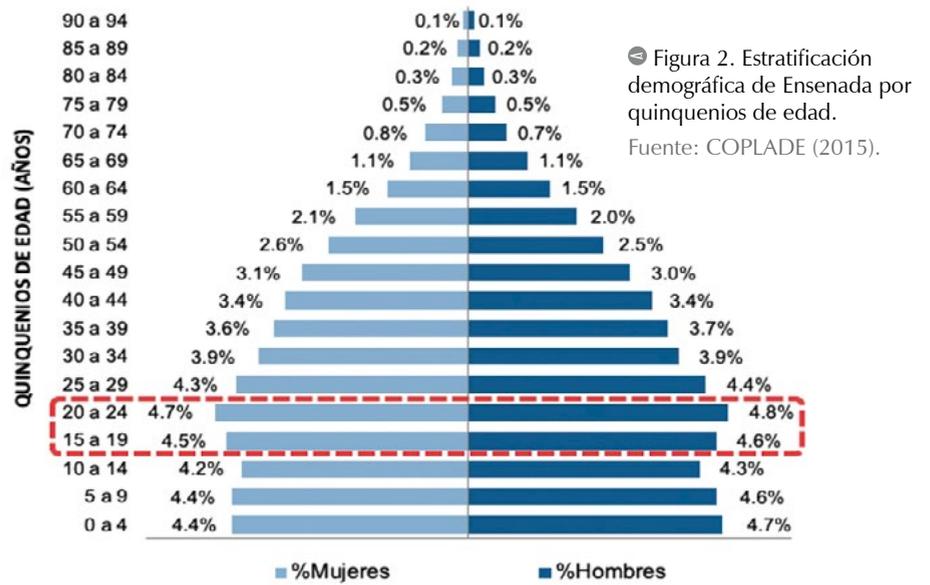


Figura 2. Estratificación demográfica de Ensenada por quinquennios de edad. Fuente: COPLADE (2015).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MUESTRA POBLACIONAL ESTUDIADA

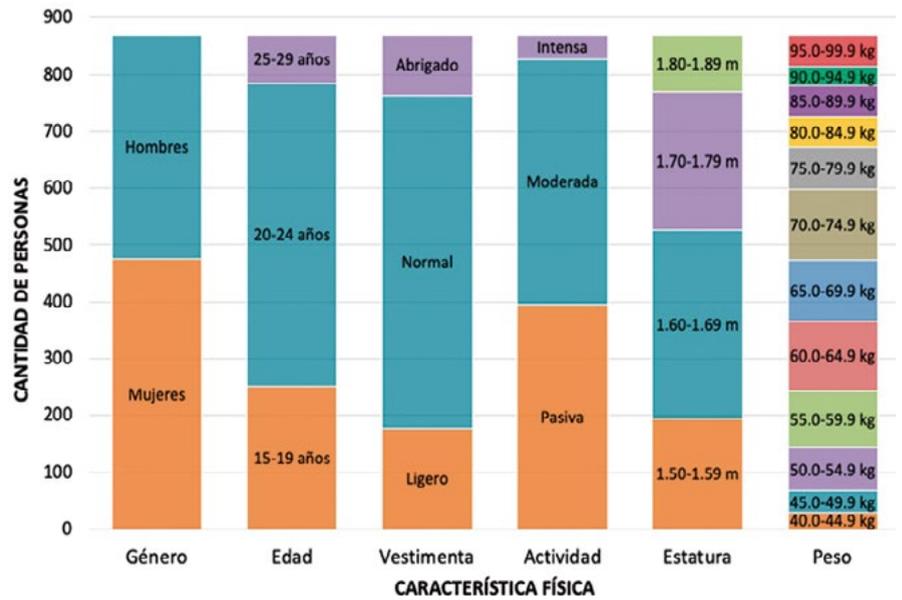


Figura 3. Estratificación de la muestra poblacional estudiada según género, edad, vestimenta, actividad, estatura y peso.

Fuente: elaboración propia (2022). CC BY

Sensación térmica	Escala de ISO 10551 (1995)	Escala adaptada al estudio
Mucho calor	+ 3	7
Calor	+ 2	6
Algo de calor	+ 1	5
Ni calor ni frío	0	4
Algo de frío	- 1	3
Frío	- 2	2
Mucho frío	- 3	1

Tabla 1. Escala de sensación térmica utilizada en los cuestionarios aplicados en campo.

Fuente: elaboración propia (2019), con base en ISO 10551 (1995) y ANSI/ASHRAE 55 (2017).



CONFORT TÉRMICO EN ESPACIOS INTERIORES: UN ESTUDIO EN BIOCLIMA TEMPLADO SECO EN ENSENADA, B. C.

Objetivo: Identificar la sensación y la preferencia térmicas de los jóvenes adultos de la ciudad de Ensenada, con el fin de estimar algunos modelos locales de confort térmico que permitan ofrecer indicadores de diseño y contribuyan en la toma de decisiones.
***Sus respuestas son muy importantes para el desarrollo de la presente investigación, por lo que se le agradecerá la honestidad y el tiempo dedicados en ellas.**

A. Datos de control (definidos por el líder de la entrevista)

01. Folio _____ 04. Hora inicial (hh:mm) _____
02. Carrera (Facultad) _____ 05. Hora final (hh:mm) _____
03. Fecha (dd/mm/aa) _____ 06. Participación no. _____ / 4

B. Información del participante

07. Nombre _____ 09. Estatura _____ m
08. Edad _____ años 10. Peso _____ kg

11. ¿Cuál es su sexo?
1) Hombre 2) Mujer

12. ¿Usted padece de alguna **enfermedad crónica** (asma, artritis, anemia, diabetes, etc.)?
1) Si 2) No 3) No lo sé

13. ¿Cuál es su **estatus como habitante** de la ciudad de Ensenada? Si su respuesta es 2 o 3, por favor indique su lugar de origen
1) Originario 2) Residente (Lugar de origen _____) 3) Visitante (Lugar de origen _____)

14. Si usted es residente o visitante de Ensenada, ¿cuánto tiempo lleva habitando en la ciudad?
1) 0 - 6 meses 2) 6 meses 1 día - 1 año 3) 1 año 1 día - 3 años 4) Más de 3 años

15. La **intensidad** con la que desarrolla sus actividades diarias la clasificaría como:
1) Pasiva: Relajada, ligera sensación de calor 2) Moderada: Normal, sensación simultánea de calor y sudor 3) Intensa: Activa, presencia abundante de calor y sudor

16. ¿Con qué **intensidad** realizó la actividad inmediata anterior a la entrevista?
1) Pasiva: Relajada, ligera sensación de calor 2) Moderada: Normal, sensación simultánea de calor y sudor 3) Intensa: Activa, presencia abundante de calor y sudor

17. **Tiempo** que llevaba realizando la actividad inmediata anterior:
1) 00 min - 15 min 2) 16 min - 30 min 3) 31 min - 45 min 4) 46 min - 60 min o más

18. ¿Qué tipo de **vestimenta** porta en este momento?
1) Muy ligera: Shorts, playera de tirantes 2) Ligera: Pantalones ligeros, playera manga corta 3) Normal: Pantalones, playera y sudadera (normales) 4) Abrigada: Ropa gruesa 5) Muy abrigada: Ropa gruesa, gorra, bufanda, guantes

C. Información del espacio (respuesta auxiliada por el líder de la entrevista)

19. Con apoyo de los siguientes croquis, indique el **número de su asiento** tomando como referencia la ubicación de la puerta

Aula con butacas de paleta Aula con mesa-bancos Laboratorio con bancos

D. Sensación del ambiente interior del espacio
* Es muy importante que sus respuestas deriven de la **SENSACIÓN** que percibe del ambiente interior en este momento

20. ¿Cómo clasificaría el clima en este espacio con relación a la temperatura? (sensación térmica)
1) Mucho frío: Dolor en las extremidades, requiere vestimenta gruesa 2) Frío: Requiere de abrigo y/o bebidas calientes 3) Algo de frío: Incomodidad ocasional resuelta por la exposición directa al Sol matutino 4) Ni calor, ni frío: Sensación térmica desapercibida, desarrollo eficiente de actividades 5) Algo de calor: Presencia de sed, no impide las actividades 6) Calor: Suda regularmente, requiere bebidas frías 7) Mucho calor: Nada puede refrescarlo, suda abundantemente

21. ¿Cómo considera el grado de **humedad** en el ambiente de este espacio? (sensación de humedad)
1) Muy húmedo: Incomodidad permanente, la humedad es constante y moja la ropa 2) Húmedo: Humedad leve en la piel, refrescante con el circular del viento 3) Algo húmedo: Ligera incomodidad por la humedad pero la piel continúa seca 4) Normal: Sensación desapercibida de humedad 5) Algo seco: Casi imperceptible, resequead eventual en los labios 6) Seco: Incomodidad ocasional, resequead en piel y labios 7) Muy seco: Incomodidad permanente; el aire, la nariz y la garganta son secos

22. ¿Cómo siente el **viento** en este momento? (índices de velocidad de viento)
1) Mucho viento: Viento fuerte, impide las actividades sedentarias 2) Viento algo fuerte: Viento intenso, causa cierta incomodidad y mueve objetos ligeros 3) Viento agradable: Leve sensación del viento sobre la piel, no causa incomodidad 4) Poco viento: No hay movimiento aparente del aire, se percibe ligero sofocamiento 5) Sin viento: Aire pesado, no se mueve, se percibe mucho sofocamiento

23. ¿Qué le parece la **luz natural y/o artificial** con la que se encuentra iluminado este espacio? (sensación lumínica)
1) Pésima: Incomodidad extrema, no se pueden realizar las actividades con normalidad 2) Mala: Incomodidad permanente, requiere de ajustes para lograr niveles adecuados de iluminación 3) Regular: Ligera incomodidad pero se pueden realizar las actividades sin cambio alguno 4) Buena: Sensación agradable respecto a los niveles de iluminación, no se requieren ajustes 5) Excelente: La iluminación es perfecta, no se tiene problema de visión ni cansancio

24. El nivel de **ruido** proveniente del entorno inmediato le parece: (sensación auditiva)
1) Muy fuerte: Aeropuerto, ferrocarril, construcción, etc. 2) Ruido fuerte: Vía terrestre muy transitada, concierto, etc. 3) Ruido medio: Personas conviviendo, tránsito moderado de vehículos, etc. 4) Ruido débil: Plática moderada, música apenas perceptible 5) Sin ruido: Todo en absoluto silencio

25. ¿Cómo percibe el **olor** que en este momento se presenta en el espacio? (sensación olfativa)
1) Muy desagradable: Olores insoportables e intensos, no se puede permanecer en el espacio 2) Desagradable: Cierta disgustos de los olores pero se pueden realizar las actividades 3) Regular: Sensación desapercibida de algún olor 4) Agradable: Cierta aceptación de los olores, contribuyen al desarrollo de las actividades 5) Muy agradable: Aceptación total de los olores, influye positivamente en la recreación del espacio

26. ¿Qué tan **tolerable** le parece el ambiente en este momento? (tolerancia personal)
1) Perfectamente tolerable: Excelente, totalmente agradable y adecuado al desarrollo de las actividades diarias 2) Tolerable: Las condiciones no son totalmente del agrado, pero son suficientes para las actividades 3) Ni tolerable, ni intolerable: Indiferente, no despierta sensación alguna, se pueden desarrollar las actividades 4) Intolerable: Requiere de ajustes para lograr las condiciones mínimas para la actividad 5) Extremadamente intolerable: Imposible habitarlo, las condiciones generan desagrado permanente

27. ¿Cómo **consideraría** el ambiente en este lugar por lo general? (aceptación personal del ambiente)
1) Generalmente aceptable 2) Generalmente inaceptable

Continúa →

Figura 4. Anverso del cuestionario utilizado in sitio durante los estudios de confort térmico en Ensenada.

Fuente: elaboración propia (2017). CC BY

Continuación

E. Preferencias del ambiente interior del espacio
 * Es muy importante que sus respuestas deriven de cómo **DESEARÍA** o **PREFERIRÍA** las condiciones del ambiente en este momento

28. ¿Cómo preferiría estar o sentirse en este momento respecto a la **temperatura** que se presenta en el espacio? (*preferencia térmica*)
 1) Mucho más fresco 2) Más fresco 3) Un poco más fresco 4) Sin cambio 5) Con un poco más de calor 6) Con más calor 7) Con mucho más calor

29. Si usted pudiera elegir el nivel de **humedad** que se presenta al interior del espacio, decidiría que éste fuera: (*preferencia higríca*)
 1) Mucho más húmedo 2) Más húmedo 3) Un poco más húmedo 4) Sin cambio 5) Un poco más seco 6) Más seco 7) Mucho más seco

30. Con base en la cantidad de **viento** que ingresa al espacio, usted preferiría: (*preferencia eólica*)
 1) Más viento 2) Sin cambio 3) Menos viento

31. ¿Cómo preferiría que se modificara la **iluminación** del espacio en este momento? (*preferencia luminica*)
 1) Más luz 2) Sin cambio 3) Menos luz

32. Si pudiera modificar las **condiciones sonoras** que afectan al espacio, usted preferiría que éstas generaran: (*preferencia auditiva*)
 1) Más ruido 2) Sin cambio 3) Menos ruido

33. ¿Cómo le gustaría que se presentara el **olor** que percibe en este momento en el espacio? (*preferencia olfativa*)
 1) Más intenso 2) Sin cambio 3) Menos intenso

F. Información complementaria

34. ¿Cuál es su **estado de ánimo** con relación a las **condiciones ambientales** que presenta el espacio en este momento? (*Evaluación afectiva*)
 1) Muy malo (Enfadado, inquieto, deprimido) 2) Malo (Estresado, impaciente) 3) Algo malo (Aburrido, somnoliento) 4) Normal (Ni bueno, ni malo; Indiferente) 5) Algo bueno (Relajado, concentrado) 6) Bueno (Alegre, sorprendido) 7) Muy bueno (Emocionado, curioso)

35. ¿En qué **periodo térmico** del año usted presenta **mayor desempeño escolar**? Puede elegir más de una opción (*Desempeño escolar*)
 1) Periodo frío (Invierno) 2) Periodo transición Frío-Cálido (Primavera) 3) Periodo cálido (Verano) 4) Periodo transición Cálido-Frío (Otoño)

36. ¿En qué **periodo térmico** del año usted presenta **mayor desempeño laboral (o doméstico, si no trabaja)**? (*Desempeño general/habitual*)
 1) Periodo frío (Invierno) 2) Periodo transición Frío-Cálido (Primavera) 3) Periodo cálido (Verano) 4) Periodo transición Cálido-Frío (Otoño)

37. **Notas adicionales:**
 Situaciones relevantes o atípicas que influyen en la percepción ambiental del participante **no consideradas** en el cuestionario: enfermedad leve, momento de depresión, periodo fisiológico mensual, exposición a cierta presión, preocupación o cualquier estado anímico distinto al ordinario, etc.

Figura 5. Reverso del cuestionario utilizado en sitio durante los estudios de confort térmico en Ensenada.

Fuente: elaboración propia (2017). CC BY

Variables ambientales y equipo de medición y registro

Las variables del ambiente térmico registradas simultáneamente con la aplicación de cuestionarios fueron: temperatura de bulbo seco (TBS), humedad relativa (HR) y velocidad de viento (VV), entre otras; también, la estimación de la resistencia térmica por arropamiento, la actividad metabólica y el índice de masa corporal para cada sujeto.

La TBS, la HR y la VV fueron medidas y registradas con un monitor de ambiente térmico de tres arreglos (mca. 3M, mod. QUESTemp 36-3), como se ilustra en la figura 6. Este equipo de monitoreo ambiental tiene una resolución de 0,1 °C para la TBS; del 0,1%, para la HR, y de 0,1 m/s para la VV, y una precisión de ± 0,5 °C para la TBS; del ± 3,0%, para la HR, y de ± (4,0% lectura + 0,1 m/s) para la VV. La selección, la distribución y la operación del equipo de medición se hicieron con base en la ISO 7726 (International Organization for Standardization, 1998) y la ANSI/ASHRAE 55 (2017), respectivamente, lo que permite clasificar la base de datos obtenida como clase I, de acuerdo con Brager & de Dear (1998).

Los espacios de evaluación fueron aulas de clase, laboratorios y talleres de dibujo. En el primero de los casos, se trata de lugares donde el mobiliario consta de butacas con paleta o mesabancos y, por ende, las personas permanecen sentadas. El equipo de medición se ubicó en el centro del aula, con las siguientes alturas sobre el nivel de piso terminado: 0,1 m, 0,6 m y 1,1 m, correspondientes a las alturas promedio del talón, el abdomen y la cabeza de una persona sentada (ISO 7726, 1998; ANSI/ASHRAE 55, 2017). Mientras, en los laboratorios y los talleres, donde el plano de trabajo se encuentra a una

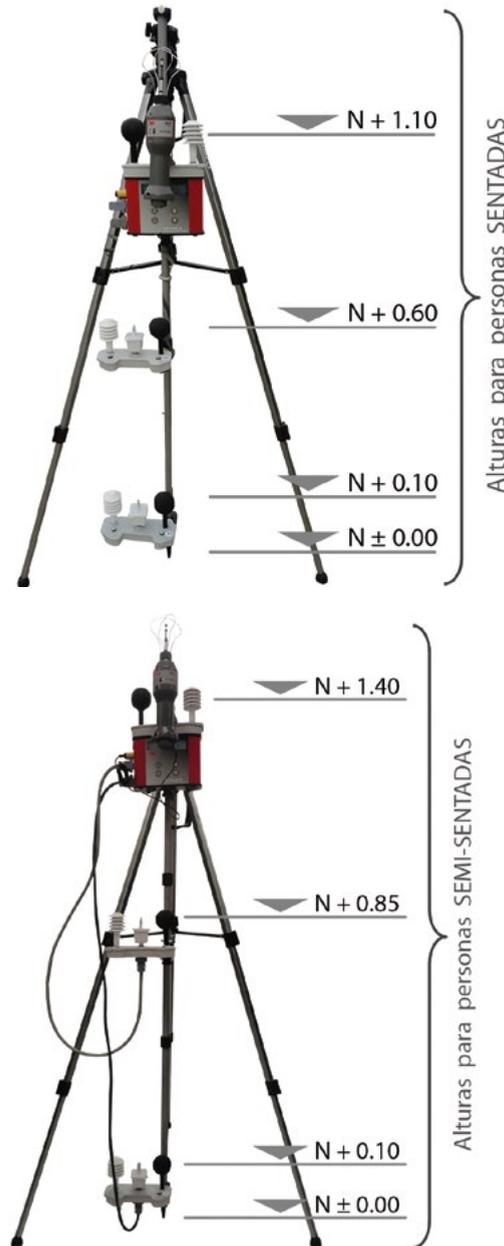


Figura 6. Instrumentos y alturas empleados para la medición y el registro de variables físicas en evaluaciones con personas sentadas y semisentadas.

Fuente: elaboración propia (2019), con base en ISO 7726 (1998) y ANSI/ASHRAE 55 (2017). CC BY

altura de 1,2 m y las personas descansan sobre bancos de 0,9 m de altura, las alturas adaptadas fueron: 0,1 m, 0,85 m y 1,4 m, respectivamente, ya que no fue posible considerárselas sentadas ni de pie, según lo ilustra la figura 6.

Aplicación de cuestionarios en sitio

Los edificios en los que se aplicó el estudio son de tres niveles, en promedio; son naturalmente ventilados y su sistema constructivo es, en su mayoría, concreto armado y bloque; en casos aislados, la ventilación natural se complementa con la de ventiladores mecánicos.

El procedimiento sistemático a partir del cual se llevó a cabo la aplicación de cuestionarios se describe a continuación:

- 20 minutos antes de cada evaluación se encendía el equipo de medición, a fin de lograr la estabilización de lecturas por variable física registrada.
- Diariamente se seleccionaban de forma aleatoria dos grupos para evaluar, considerando que:
 - Los estudiantes debían cursar tercer semestre o alguno posterior, con el fin de garantizar una estancia mínima de un año en la ciudad de Ensenada.

- Cada grupo debía cubrir una matrícula estudiantil mixta: mujeres-hombres.
 - Los horarios de evaluación debían corresponder con las clases de 07 h 00-09 h 00, y de 15 h 00-17 h 00, con el propósito de atender los horarios frío y cálido extremos de un día típico.
- Con lo anterior, diariamente se evaluaron dos grupos de estudiantes: uno por la mañana y otro por la tarde. El momento de aplicación correspondió a 30 minutos de iniciada la clase.
 - Al inicio de la evaluación se distribuía el equipo de medición dentro del espacio, en cuanto a posición y alturas, como se muestra en la figura 6, y se entregaban los cuestionarios.
 - Durante la evaluación, un coordinador daba lectura al cuestionario, resolvía las dudas y daba continuidad a la evaluación, según lo ilustra la figura 7a. En promedio, cada evaluación duraba 18 minutos.
 - Simultáneamente a dar las respuestas a los cuestionarios y al registro de la percepción térmica por parte de los estudiantes, una persona de la cuadrilla de trabajo se encargaba de registrar las lecturas obtenidas con el equipo de medición.
 - De igual forma, esa persona se encargaba de hacer el levantamiento fotográfico de la evaluación y tomar nota de las características específicas del espacio en la cédula técnica diseñada con tal fin.
 - Una vez concluida la evaluación, se tomaba lectura del peso y la talla a quien así lo solicitara, como lo ilustra la figura 7b; estos datos debían asentarse en el cuestionario.
 - Por último, se recogían ordenadamente el equipo de medición y los cuestionarios, con el fin de mantener un parámetro confiable de foliación y captura de datos.

Con la aplicación de este proceso metodológico fue posible recabar 987 evaluaciones en 50 espacios interiores diferentes.

Procesamiento de datos

El procesamiento de datos se llevó a cabo con el método estadístico denominado *medias por intervalos de sensación térmica* (MIST), desarrollado por Gómez-Azpeitia et al. (2007). Este método consiste en agrupar los votos de confort por categoría de sensación térmica (ST) y obtener la media de la variable ambiental en cada caso; agregar y sustraer ± 1 desviación estándar (DS) (rango de confort reducido) y ± 2 DS (rango de confort extenso) a la media de cada nivel; graficar los pares de datos obtenidos y trazar las líneas de regresión simple; la T_n y los rangos de confort resultan del cruce de estas y el nivel cuatro de ST.

Figura 7. a) Aplicación de evaluaciones en sitio.
b). Medición de peso y talla a los evaluados.

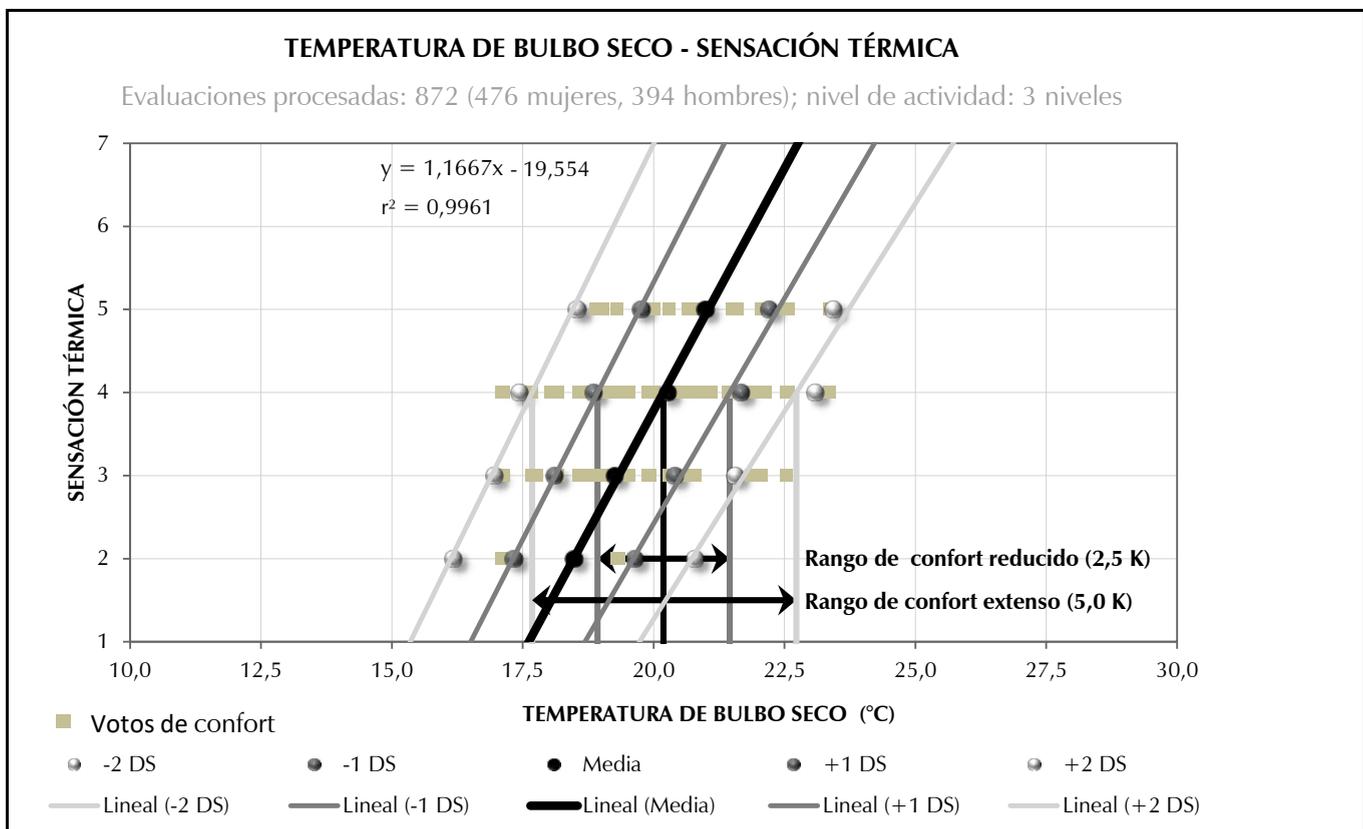
Fuente: elaboración propia (2017); capturas obtenidas en sitio. CC BY



PERIODO DE TRANSICIÓN TÉRMICA
Temperatura de Bulbo Seco - Sensación Térmica
Evaluaciones procesadas: 872 (476 mujeres, 394 hombres); nivel de actividad: 3 niveles

DS	ST	Escala	-2 DS	-1 DS	Media	+1 DS	+2 DS	Votos
1,2	Algo de calor	5	18,6	19,8	21,0	22,2	23,4	100
1,4	Ni calor, ni frío	4	17,5	18,9	20,3	21,7	23,1	537
1,1	Algo de frío	3	17,0	18,1	19,3	20,4	21,6	227
1,2	Frío	2	16,2	17,3	18,5	19,6	20,8	8

Ecuación	$y = 1,29x - 18,78$	$y = 1,24x - 19,44$	$y = 1,17x - 19,55$	$y = 1,09x - 19,28$	$y = 1,00x - 18,76$
r^2	0,9774	0,9981	0,9961	0,9782	0,9503
Neutral	17,7	18,9	20,2	21,5	22,7
Umbral	-2,5	-1,3		1,3	2,5



Resultados

El grado de influencia que cada una de las variables físicas registradas ejerció sobre la ST de los sujetos, según su coeficiente de determinación (r^2), fue el siguiente: 1) TBS ($r^2 = 0,1325$); 2) HR ($r^2 = 0,1210$), y 3) VV ($r^2 = 0,0147$). En este sentido, los resultados presentados a continuación corresponden exclusivamente a la correlación de la TBS y la ST percibida.

De acuerdo con la figura 8, la T_n estimada resultó en $20,2^\circ\text{C}$ ($r^2 = 0,9961$), con un rango reducido de confort de $18,9^\circ\text{C}$ - $21,5^\circ\text{C}$ (2,6 K) y un rango extenso de confort de $17,7^\circ\text{C}$ - $22,7^\circ\text{C}$ (5,0 K); en ambos casos, los límites superior e inferior resultaron equidis-

tantes a la T_n , lo cual permite advertir, en principio, que las condiciones térmicas del periodo de estudio se presentan simétricas. Por su parte, la ecuación matemática obtenida con la regresión lineal de cada uno de los valores térmicos muestra un valor de 1,17 para la pendiente (m) de la T_n ; de 1,24 y 1,29, para los límites inferiores, y de 1,09 y 1,00 para los límites superiores.

El valor de la pendiente en cada una de las regresiones lineales permitió observar la correlación próxima entre la ST y la magnitud de la TBS en cada caso; sin embargo, el límite superior del rango de confort extenso fue el que reflejó una correlación perfecta, lo cual permite una certidumbre garantizada en el valor obtenido.

Figura 8. Correlación de la TBS y la ST a partir del método estadístico de MIST. Fuente: elaboración propia, con base en Gómez-Azpeitia et al. (2007). CC BY

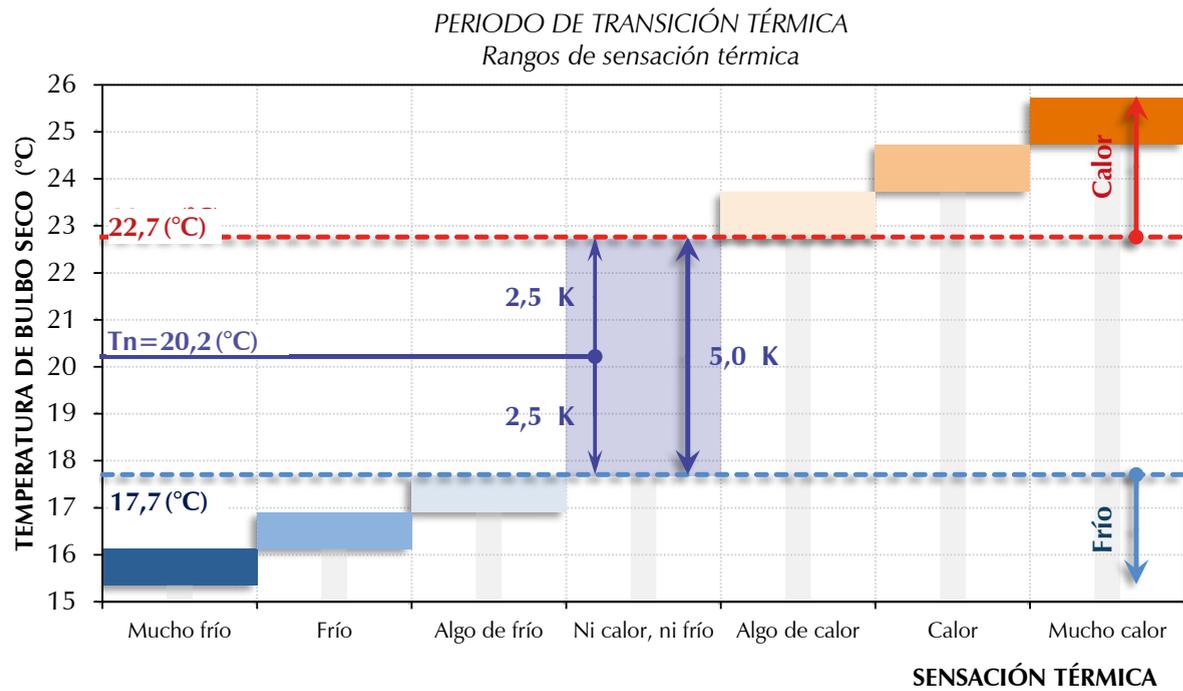


Figura 9. Amplitud térmica estimada para cada categoría de ST.

Fuente: elaboración propia (2019). CC BY

De acuerdo con la figura 8, los votos de confort emitidos por los sujetos reflejaron mayor concentración en las categorías de ST *ni calor, ni frío* y *algo de frío*, lo que permite advertir menor adaptación a temperaturas por debajo de la T_n que por encima de esta; sin embargo, con la disposición de cada regresión lineal simple (RLS), es posible observar la equidistancia y la proporcionalidad que cada uno de los rangos de confort (extenso y reducido) encuentra con la T_n , lo cual permite deducir que, desde el punto de vista fenomenológico, si bien la muestra estudiada refiere mayor facilidad de adaptación a temperaturas por encima de la T_n , los sujetos manifiestan el mismo grado de tolerancia frente a un rango térmico equivalente por debajo de la T_n .

Lo anterior se atribuye al conjunto de acciones que las personas llevan a cabo de forma activa para alcanzar, eventualmente, el confort térmico (modificación del nivel de arropamiento, cambio de postura, manipulación de la apertura y el cierre de puertas y ventanas, ingesta de bebidas, empleo de accesorios o dispositivos de ventilación, cambio de actividad, etc.) y a la expectativa que ellas generan frente a la aproximación del periodo cálido. Con lo anterior logran, además, un desempeño regular de sus actividades y las condiciones térmicas favorables para su bienestar.

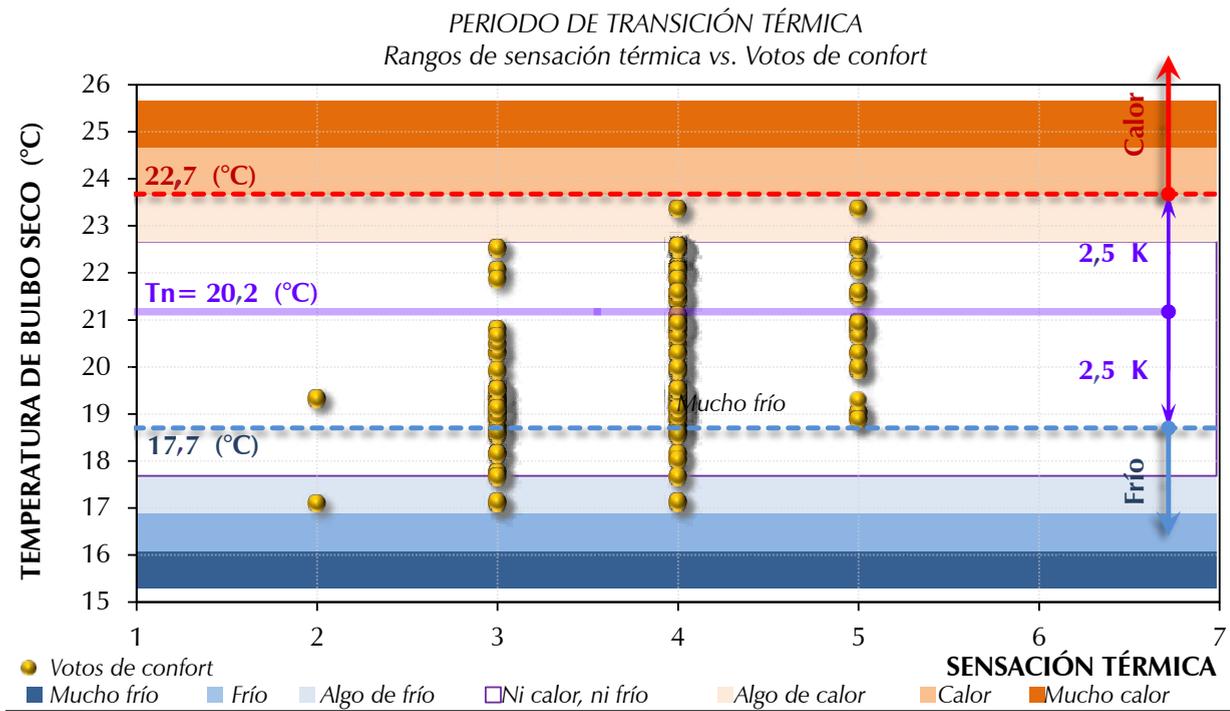
Desde el punto de vista estadístico, el rango reducido de confort (± 1 DS) incluye al 68,3% de la población analizada, y el rango extenso de confort (± 2 DS), al 95,5% de ella. Con ello, en la figura 9 se presenta la amplitud térmica de cada categoría de ST calculada estadísticamente a partir únicamente del rango extenso. Esta amplitud se obtiene al cruzar las RLS de cada uno de los límites del rango extenso con cada una de las categorías de ST ubicadas en el eje de las ordenadas, como se ve en la figura 8. La

amplitud térmica estimada para las ST frías fue: a) *Mucho frío*, de 15,4°C-16,1°C; b) *Frío*, de 16,1°C-16,9°C, y c) *Algo de frío*, de 16,9°C-17,7°C; con una amplitud constante de 0,8K. Por su parte, la amplitud térmica estimada para las ST cálidas fue: a) *Algo de calor*, de 22,7°C-23,7°C; b) *Calor*, de 23,7°C-24,7°C, y c) *Mucho calor*, de 24,7°C-25,7°C; con una amplitud constante de 1,0K, todo lo cual se expresa en la figura 9.

Con base en lo anterior, y de acuerdo con las condiciones térmicas en las que se evaluó a la muestra, cabe asumir que el 96% de los sujetos se hallaban en confort térmico durante su evaluación; solo el 4% de ellos se hallaban en condiciones de *algo de frío*, y el 1%, en condiciones de *algo de calor*, tal cual se muestra en la figura 10. Ello sugiere que las condiciones térmicas de los espacios visitados durante el periodo de estudio son aceptables para prácticamente el total de la muestra evaluada, debido a la adaptación permanente que emprenden las personas para obtener las condiciones térmicas de confortabilidad —o en su caso, tolerancia— que les permitan un buen desempeño y buen estado anímico y de salud en su vida diaria.

Discusión

Dentro del estudio del fenómeno del confort térmico, los trabajos de Auliciems y Szokolay (1997) representan una alternativa muy aceptada por los investigadores y los estudiosos del tema, dada la fuerte correlación que estos autores han advertido entre el ambiente interior de un espacio ventilado naturalmente y la temperatura media exterior del entorno en el que se encuentra dicho espacio. Tras analizar distintas muestras poblacionales con características específicas de clima, actividad y arropamiento, al igual que información particular entre edifica-



ciones con climatización controlada y las que no contaban con esa característica, ambos autores retomaron el estudio de neutralidades (Tn) con base en la temperatura promedio mensual (Tm), y obtuvieron la siguiente ecuación lineal (1):

$$T_n = 0,31 T_m + 17,6 \quad (r = 0,88) \quad (1)$$

Donde:

Tn = Temperatura neutra

Tm = Temperatura media del periodo en estudio

Este modelo plantea aplicar una amplitud térmica de $\pm 2,5K$ sobre la Tn para periodos anuales, ya que mientras mayor sea el tiempo de adaptación, más amplio es el rango de confort, dado que durante ese periodo pueden presentarse temperaturas extremas y, por ende, cuanto más reducido sea el periodo de adaptación, más estable será la oscilación de temperaturas, pues los extremos quedarían fuera de ese lapso. Por lo anterior, las ecuaciones para estimar los límites superior e inferior del rango de confort son las siguientes (2) (3):

$$Z_{Ci} = T_n - 2,5 K \quad (2)$$

Donde:

ZCi = Límite inferior del rango de confort térmico

Tn = Temperatura neutra

$$Z_{Cs} = T_n + 2,5 K \quad (3)$$

Donde:

ZCs = Límite superior del rango de confort térmico

Tn = Temperatura neutra

Dadas las características que comparten las investigaciones realizadas por estos autores y el estudio que en este documento se presenta, a continuación se presenta una comparación entre los valores obtenidos aplicando las ecuaciones ya descritas y las estimaciones con el presente estudio.

ST	Escala	Rango extenso	Votos	%
Mucho calor	7	24,7 - 25,7		
Calor	6	23,7 - 24,7		
Algo de calor	5	22,7 - 23,7	8	1%
Ni calor, ni frío	4	17,7 - 22,7	833	96%
Algo de frío	3	16,9 - 17,7	31	4%
Frío	2	16,1 - 16,9		
Mucho frío	1	15,4 - 16,1		

Con base en la ecuación lineal de Auliciems y Szokolay (1997) (1), la Tn obtenida para la transición térmica del periodo frío al periodo cálido en la ciudad de Ensenada fue de 22,9°C, mientras que la estimada a partir de la metodología aplicada en el presente estudio resultó ser de 20,2°C. De igual forma, el rango de confort térmico obtenido con las ecuaciones de los mencionados autores fue de 20,4°C-25,4°C, mientras que el rango de confort térmico extenso obtenido en el presente estudio se estimó como de 17,7°C-22,7°C. En los tres valores la diferencia constante es de 2,7K.

Lo anterior se debe a que los resultados obtenidos con el desarrollo del presente estudio atienden particularidades específicas del caso y la comunidad de estudio analizados: las condiciones climáticas del periodo analizado, las acciones que emprenden los sujetos para conseguir el confort térmico, las condiciones específicas del espacio objeto de evaluación y el procesamiento de datos con un método estadístico local que día a día representa mayor aceptación por la comunidad académica y científica relacionada con el tema, entre otras.

Los resultados, no obstante, determinan un rango de aproximación estrecho entre cada uno de los valores obtenidos, lo que permite advertir una validación de resultados suficiente con cualquiera

Figura 10. Amplitud térmica de cada categoría de ST vs. Votos de confort emitidos durante el estudio.

Fuente: elaboración propia (2019). CC BY

de los dos métodos descritos, pues el que refleja resultados con mayor precisión es el que atiende a las condiciones locales específicas de la comunidad blanco estudiada.

Lo anterior se debe a la invariable adaptación que, de manera constante, los sujetos adoptan, consciente e inconscientemente, tan solo buscando confort térmico y su adquisición eventual, a partir de diferentes modalidades que les permiten modificar y adecuar su entorno inmediato a fin de lograr las condiciones térmicas deseadas o, en su caso, tolerables.

Conclusiones

El rango térmico de confort estimado para espacios interiores con ventilación natural para la transición térmica del periodo frío al periodo cálido en Ensenada, Baja California (bioclima templado-seco), es de 17,7°C-22,7°C (5,0K), con una temperatura óptima ambiental de 20,2°C. La amplitud térmica obtenida estadísticamente para cada una de las tres sensaciones térmicas frías se estimó en 0,8K acumulativos por debajo del rango de confort térmico, mientras que la obtenida para cada una de las tres sensaciones térmicas cálidas se estimó en 1,0K acumulativos por encima del rango de confort térmico, lo cual permite conocer que las condiciones térmicas de evaluación del periodo de estudio fueron favorables para el 96% de las personas evaluadas en sitio; por ende, dichas condiciones son aceptables para prácticamente el total de la población a partir de la adecuación eventual de su entorno inmediato y el emprendimiento simbólico de ciertas acciones en la búsqueda constante del confort térmico.

Asimismo, los valores estimados permiten percibir el ajuste que la sensación térmica de las personas va adoptando simultáneamente con las condiciones que el ambiente térmico presenta periódicamente, en aras de que el cuerpo humano se mantenga buscando la adaptación psicofisiológica que le permita alcanzar, eventualmente, el confort térmico.

Cuando las condiciones del ambiente térmico de los espacios representan variabilidad continua, los sujetos emprenden acciones, de forma consciente e inconsciente, que les permitan conseguir nuevamente una percepción eventual de equilibrio térmico entre el entorno inmediato y su organismo. Las acciones comúnmente adoptadas son: cambio en el nivel de arropamiento; ingesta de bebidas; cambio de posición; movilidad; resguardo en un microclima que asegure pronta adaptación; la operación de dispositivos de acondicionamiento natural (puertas y ventanas); el uso eventual de equipos mecánicos de acondicionamiento artificial, y el cambio de actividad física, entre otros.

El fenómeno del confort térmico y su influencia en la habitabilidad de los espacios ha sido estudiado desde la Antigüedad —sobre todo, en bioclimas áridos y semiáridos—, debido a la innegable influencia que las variables climatológicas han registrado en la arquitectura vernácula de cada sitio y, por supuesto, el termopreferendo estimado para sus espacios (Atmaca & Gedik, 2019; Bassoud et al., 2021; Chang et al., 2021; Zhang et al., 2018). No solo la temperatura media radiante, sino también, el factor de cielo visible o el albedo, han definido las características físicas de la envolvente o de los sistemas constructivos en las edificaciones, sino que, además, el efecto combinado de la temperatura, la humedad y el movimiento del aire ha determinado la respuesta térmica de los habitantes en bioclimas de mayor humedad relativa (Yan et al., 2020).

Este tipo de estudios ha sofisticado de manera sustancial los hallazgos relacionados con el ambiente térmico y la efectividad de las estrategias de diseño pasivo ante el cambio climático (Liu et al., 2020); dichos avances incluyen metodologías que comienzan a integrar aspectos relevantes de género (Cohen et al., 2019), y van desde los espacios donde los sujetos soportan variaciones térmicas en ambientes dominados por elementos naturales (Manavvi & Rajasekar, 2022), hasta medir la respuesta fisiológica en espacios climáticamente controlados (Zhang et al., 2017), o bien, la reducción del rango de confort para personas en espacios cerrados y de alta ocupación con sistemas de aire acondicionado central (Zhang et al., 2020). Aunque hasta ahora los estudios de esa índole se orientan, de manera predominante, a estimar el confort térmico humano durante el verano, es necesario contrastar esa evidencia entre las diferentes estaciones climáticas (periodos térmicos), así como los distintos bioclimas que, incluso, analizan variedades de clima frío (Amindeldar et al., 2017; Yao et al., 2018; Wei et al., 2022).

Agradecimientos

Se agradece al Programa para el Desarrollo Profesional Docente para el Tipo Superior (PRODEP), México, por financiar el proyecto denominado *Confort Térmico en Espacios Interiores: Un Estudio en Bioclima Templado Seco en Ensenada, Baja California*, con folio UABC-PTC-607, en el marco de la Convocatoria 2016 para Apoyo a la Incorporación de Nuevos Profesores de Tiempo Completo, del cual deriva esta publicación. También, a la Universidad Autónoma de Baja California, cuyo número de registro del proyecto es 402/395/E, por brindar las facilidades para los trabajos de campo de esta investigación en su campus Ensenada, dentro de la Facultad de Ciencias Administrativas y Sociales, la Facultad de Ciencias Marinas y la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño.

Referencias

- Ambriz, J. (2005). La temperatura afecta la productividad: UAM. *Investigación y Desarrollo ID, invdes*. <http://www.invdes.com.mx>
- American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, ANSI/ASHRAE 55 (2017). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/standards%20and%20guidelines/standards%20addenda/55_2017_d_20200731.pdf
- Amindeldar, S., Heidari, S., & Khalili, M. (2017). The effect of personal and microclimatic variables on outdoor thermal comfort: A field study in Tehran in cold season. *Sustainable Cities and Society*, 32(25), 153-159. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.03.024>
- Atmaca, A. B., & Gedik, G. Z. (2020). Determination of thermal comfort of religious buildings by measurement and survey methods: Examples of mosques in a temperate-humid climate. *Energy and Buildings*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101246>
- Atmaca, A. B., & Gedik, G. Z. (2019). Evaluation of mosques in terms of thermal comfort and energy consumption in a temperate-humid climate. *Energy and Buildings*, 195, 195-204. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.04.044>
- Auliciems, A., & Szokolay, S. (1997). *Thermal comfort- Notes of passive and low energy architecture international*. PLEA, University of Queensland.
- Bassoud, A., Khelafi, H., Mokhtari, A. M., & Bada, A. (2021). Evaluation of summer thermal comfort in arid desert areas. Case study: Old adobe building in Adrar (South of Algeria). *Building and Environment*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108140>
- Brager, G., & de Dear, R. (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)
- Cihan, T., & Gulden, G. A. (2019). The relation between thermal comfort and human-body exergy consumption in a temperate climate zone. *Energy and Buildings*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109548>
- Chang, S., He, W., Yan, H., Yang, L., & Song, C. (2021). Influences of vernacular building spaces on human thermal comfort in China's arid climate areas. *Energy and Buildings*, 244. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110978>
- Cohen, P., Shashua-Bar, L., Keller, R., Gil-Ad, R., Yaakov, Y., Lukyanov, V., Bar (Kutiel), P., Tanny, J., Cohen, S., & Potchter, O. (2019). Urban outdoor thermal perception in hot arid Beer Sheva, Israel: Methodological and gender aspects. *Building and Environment*, 160. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106169>
- COPLADE. (2015). *Población de Baja California y sus Municipios. Apuntes de población de Baja California, México*. <http://www.bajacalifornia.gob.mx/Documentos/coplade/pub-sociodemograficas/2021/Municipios-comunidades-poblacion.pdf>
- Fuentes, V., & Figueroa, A. (1990). *Criterios de adecuación bioclimática en la arquitectura*. Instituto Mexicano del Seguro Social.
- Forgiarini-Rupp, R., Giraldo-Vásquez, N., & Lamberts, R. (2015). A review of human thermal comfort in the built environment. *Energy and Buildings*, 105, 178-205. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.047>
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen [para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana]*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gargiulo, C. (2014). *Aprendizajes en las escuelas del siglo XXI: Notas técnicas*. Banco Interamericano de Desarrollo. Dirección de Educación.
- Gómez-Azpeitia, G., Bojórquez-Morales, G., Ruiz, P., Marincic, I., González, E., & Tejeda, A. (2014). Extreme adaptation to extreme environments: Case study of hot dry, hot sub-humid, and hot humid climates in Mexico. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 8(8), 929-942. <https://pdfs.semanticscholar.org/c781/3583ba35f783dc75abae46c28763e13ef055.pdf>
- Gómez-Azpeitia, G., Ruiz, R., Bojórquez, G., & Romero, R. (2007). *Monitoreo de Condiciones de Confort Térmico: Reporte Técnico (Producto 3), CONAFOVI 2004-01-20*. Comisión Nacional del Fondo para Vivienda, Proyecto Confort Térmico y Ahorro de Energía en la Vivienda Económica en México, Regiones de Clima Cálido Seco y Húmedo, Colima.
- Humphreys, M. (1978). Outdoor temperatures and comfort indoors, Batiment International. *Building Research and Practice*, 6 (2), 92. <https://doi.org/10.1080/09613217808550656>
- Humphreys, M., & Nicol, F. (2002). The Validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments. *Energy and Buildings*, 34, 667-684. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00018-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00018-X)
- Humphreys, M., & Nicol, F. (1998). Understanding the adaptive approach to thermal comfort. *ASHRAE Transactions, Technical Bulletin*, 104(1).
- INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Ensenada, Baja California (Clave geoestadística 02001)*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- International Organization for Standardization. (1995). *ISO 10551 Ergonomics of thermal environment – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales*. ISO.
- International Organization for Standardization. (1998). *ISO 7726 Ergonomics of the thermal environment - Instruments for Measuring Physical Quantities*, 2nd edition. ISO.
- International Organization for Standardization. (2004). *ISO 8996 Ergonomics of the thermal environment - Determination of Metabolic Rate*, 2nd edition. ISO.
- International Organization for Standardization. (2005). *ISO 7730 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*, 3rd edition. ISO.
- Jeong, B., Kim, J., Chen, D., & de Dear, R. (2022). Comparison of residential thermal comfort in two different climates in Australia. *Building and Environment*, 211, 108706. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108706>
- Liu, S., Kwok, Y. T., Lau, K. K. L., Ouyang, W., & Ng, E. (2020). Effectiveness of passive design strategies in responding to future climate change for residential buildings in hot and humid Hong Kong. *Energy and Buildings*, 228, 110469. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110469>
- Manavvi, S., & Rajasekar, E. (2022). Evaluating outdoor thermal comfort in urban open spaces in a humid subtropical climate: Chandigarh, India. *Building and Environment*, 209, 108659. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108659>
- Ministerio de Educación. (2015). *Plan estratégico de infraestructura escolar*. Departamento de Infraestructura Escolar de Chile.
- Mishra, A., Loomans, M., & Hensen, J. (2016). Thermal comfort of heterogeneous and dynamic indoor conditions-An overview. *Building and Environment*, 109, 82-100. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.09.016>

- Nikolopoulou, M., & Steemers, K. (2003). Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and Buildings*, 35, 95-101. [https://doi.org/10.1016/s0378-7788\(02\)00084-1](https://doi.org/10.1016/s0378-7788(02)00084-1)
- Olgay, V. (1963). *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Editorial Gustavo Gili.
- Oropeza-Pérez, I., Petzold-Rodríguez, A., & Bonilla-López, C. (2017). Adaptive thermal comfort in the main Mexican climate conditions with and without passive cooling. *Energy and Buildings*, 145, 251-258. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778817313014>
- Ozarisoy, B., & Altan, H. (2021). Regression forecasting of 'neutral' adaptive thermal comfort: A field study investigation in the south-eastern Mediterranean climate of Cyprus. *Building and Environment*, 202, 108013. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108013>
- Proyecto Banco Interamericano de Desarrollo. (2015). *Proyecto BID Aprendizaje en las escuelas del siglo XXI*. BID.
- Romero, R., Bojórquez, G., Corral, M., & Gallegos, R. (2013). Energy and the occupant's thermal perception of low-income dwellings in hot-dry climate: Mexicali, México. *Renewable Energy*, 49, 267-270. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.01.017>
- Shrestha, M., Rijal, H. B., Kayo, G., & Shukuya, M. (2021). A field investigation on adaptive thermal comfort in school buildings in the temperate climatic region of Nepal. *Building and Environment*, 190, 107523. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107523>
- SMN-CONAGUA. (2017). *Datos climáticos registrados por la Estación Meteorológica Automática BC-02 Ensenada, ubicada en la Presa Emilio López Zamora al norte de Ensenada, Baja California (latitud 31°53'29" N, longitud 116°36'11" W, altitud 32.0 msnm)*. Servicio Meteorológico Nacional (SMN-CONAGUA), periodo 2000-2017.
- Szokolay, S. (2004). *Introduction to architectural science: The basis of sustainable design*. Architectural Press, Elsevier.
- Terence, W., & Lyrian, D. (2020). A new adaptive thermal comfort model for homes in temperate climates of Australia. *Energy & Buildings*, 210, 109728. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109728>
- Vázquez-Torres, C.E., & Gómez-Amador, A. (2021). Impact of indoor air volume on thermal performance in social housing with mixed mode ventilation in three different climates. *Energy and Built Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.05.002>
- Wei, D., Yang, L., Bao, Z., Lu, Y., & Yang, H. (2022). Variations in outdoor thermal comfort in an urban park in the hot-summer and cold-winter region of China. *Sustainable Cities and Society*, 77, 103535. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103535>
- Yan, H., Liu, Q., Zhao, W., Pang, C., Dong, M., Zhang, H., Gao, J., Wang, H., Hu, B., Yang, L., & Wang, L. (2020). The coupled effect of temperature, humidity, and air movement on human thermal response in hot-humid and hot-arid climates in summer in China. *Building and Environment*, 177, 106898. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106898>
- Yao, J., Yang, F., Zhuang, Z., Shao, Y., & Yuan, P. F. (2018). The effect of personal and microclimatic variables on outdoor thermal comfort: A field study in a cold season in Lujiazui CBD, Shanghai. *Sustainable Cities and Society*, 39, 181-188. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.02.025>
- Yin, P., Ji, Y., Xie, J., Liu, J., Hou, Q., Zhao, S., & Jing, P. (2022). Residential wintry thermal comfort and adaptive behaviors in a cold climate in Beijing, China. *Energy & Buildings*, 265, 111942. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111942>
- Zhang, Z., Zhang, Y., & Ding, E. (2017). Acceptable temperature steps for transitional spaces in the hot-humid area of China. *Building and Environment*, 121, 190-199. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.05.026>
- Zhang, Z., Zhang, Y., & Jin, L. (2018). Thermal comfort in interior and semi-open spaces of rural folk houses in hot-humid areas. *Building and Environment*, 128, 336-347. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.10.028>
- Zhang, Z., Zhang, Y., & Khan, A. (2020). Thermal comfort of people in a super high-rise building with central air-conditioning system in the hot-humid area of China. *Energy and Buildings*, 209, 109727. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109727>

