

Estimación del confort térmico en espacios exteriores: evaluación del periodo frío en Ensenada, Baja California

Calculation of Thermal Comfort in Outdoor Spaces: evaluation of the Cold Season in Ensenada, Baja California

Recibido: agosto 21 / 2020 • Evaluado: septiembre 14 / 2020 • Aceptado: marzo 21 / 2024

CÓMO CITAR

Martínez-Bermúdez, E., & Rincón-Martínez, J. C. (2024). Estimación del confort térmico en espacios exteriores: evaluación del periodo frío en Ensenada, Baja California. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 26(2), 151-166. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2024.26.3637>

Elizabeth Martínez-Bermúdez*
Universidad Autónoma de Baja California.
Ensenada (México)
<https://ror.org/05xwq167>
Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño
Programa de Maestría y Doctorado en
Arquitectura, Urbanismo y Diseño

Julio César Rincón-Martínez**
Universidad Autónoma de Baja California.
Ensenada (México)
<https://ror.org/05xwq167>
Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño

RESUMEN

Los estudios del confort térmico en espacios exteriores son fundamentales para favorecer la habitabilidad de los espacios abiertos y mejorar las condiciones de vida de las personas; sin embargo, es necesario que sean producto de las características locales y de las personas del sitio donde se desarrollan los estudios. El objetivo de este trabajo es evaluar la sensación térmica humana durante el periodo frío, con el fin de estimar los rangos de confort térmico para espacios exteriores que permitan ofrecer indicadores de diseño. Para ello, se recabaron observaciones en diversos tipos de espacios abiertos de la ciudad de Ensenada, única en México con clima mediterráneo, con inviernos fríos y húmedos. La evaluación se realizó mediante el enfoque adaptativo y se procesó con el método de Medias por Intervalos de Sensación Térmica (MIST). Se realizó un análisis correlacional respecto a la sensación térmica con las variables climáticas de temperatura del aire, humedad relativa y velocidad de viento. El rango de confort térmico fue de 12,6 °C a 23,8 °C, valores por debajo de los rangos anuales estimados para regiones climáticas mediterráneas (21,1 °C-29,2 °C y 20 °C-25 °C) en el mismo periodo de estudio.

Palabras clave:

adaptación al ambiente térmico; confort térmico en exteriores; enfoque adaptativo; percepción térmica; sensación térmica

ABSTRACT

Studies on thermal comfort in outdoor spaces are fundamental to enhance the habitability of open spaces and to improve people's living conditions. However, these studies must consider the local characteristics and the specific population of the area where the studies are conducted. The objective of this paper is to evaluate human thermal sensation during the cold season, in order to calculate thermal comfort ranges for outdoor spaces, providing design indicators. For this purpose, observations were collected in various types of open spaces in the city of Ensenada, the only one in Mexico with a Mediterranean climate characterized by cold and wet winters. The evaluation was conducted using the adaptive approach and processed with the Averages of Thermal Sensation Intervals (ATSI) method. A correlational analysis was performed regarding thermal sensation with climatic variables such as air temperature, relative humidity, and wind speed. The thermal comfort range was found to be from 12.6 °C to 23.8 °C, values below the annual ranges calculated for Mediterranean climatic regions (21.1 °C-29.2 °C and 20 °C-25 °C) during the same study period.

Keywords:

adaptation to thermal environment; outdoor thermal comfort; adaptive approach; thermal perception; thermal sensation

- ✦ Licenciatura en Arquitectura, Centro de Estudios Universitarios Xochicalco. Ensenada (México).
Maestría en Arquitectura, Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali (México).
Doctorado en Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada (México).
 <https://orcid.org/0000-0002-7116-5668>
 elizabeth.martinez.bermudez@uabc.edu.mx
- ✪✪ 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/05xwcq167>) (México).
Investigaciones sobre Arquitectura bioclimática y confort térmico.
<https://uabc.academia.edu/JulioRincon>
 <https://scholar.google.com/citations?user=Un0eFuEAAAAJ&hl=es>
 <https://orcid.org/0000-0002-1946-3609>
 julio.rincon@uabc.edu.mx

INTRODUCCIÓN

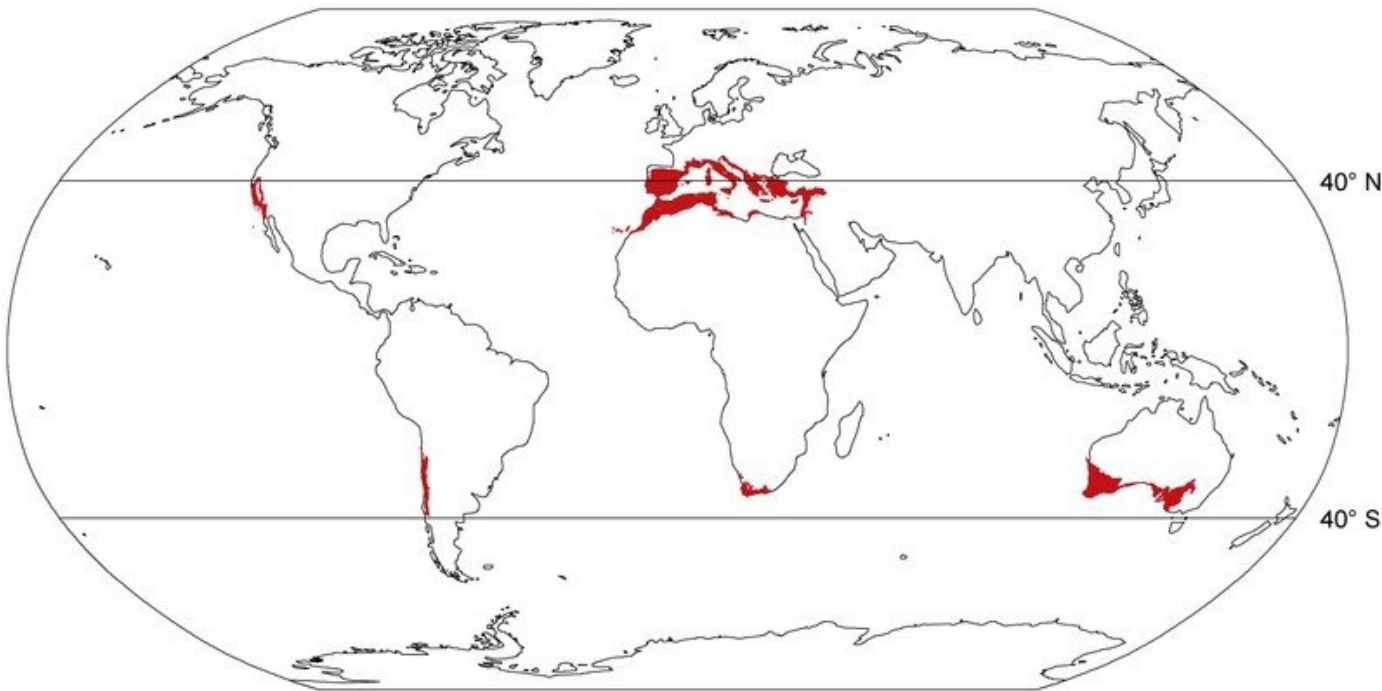
El confort térmico se define como “esa condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico” (ISO, 2005, p.10) y se evalúa de manera subjetiva (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2017, p. 3). La relación entre el confort térmico y los espacios abiertos se da por la relación inherente entre los seres humanos y el desarrollo de las actividades en espacios exteriores. Estudios dedicados al confort térmico relacionado con el entorno al aire libre han aumentado durante los últimos diez años (Cohen et al., 2013, p. 1).

De acuerdo con ANSI/ASHRAE 55 (2023, p. 4) la zona de confort está relacionada directamente con los parámetros ambientales de temperatura, humedad y velocidad del viento, así como con algunos aspectos de tipo antropogénico, como la tasa metabólica y el arropamiento. Olgyay (1963), citado en Cohen et al. (2013, p. 1), señala que la zona de confort no tiene límites reales y está sujeta a la situación geográfica y la estacionalidad; de manera

general, se establece que la temperatura ambiente de confort aceptable para el ser humano va de 23 °C a 27 °C en verano, y de 20 °C a 25 °C en invierno (ANSI/ASHRAE 55, 2023). Sin embargo, es necesario considerar la adaptación térmica humana, la cual se define como el “decremento gradual de respuesta del organismo a repetidas exposiciones a estímulos que se reciben de un ambiente térmico específico” (Nikolopoulou & Steemers, 2003, p. 96, citados en Rincón et al., 2017, p. 97).

Por ello, es importante realizar estudios que identifiquen los rangos de confort óptimos para espacios exteriores de manera que puedan ser implementados en regiones que compartan características geográficas y climáticas. En el mundo hay cinco regiones con clima mediterráneo (figura 1), el cual se caracteriza por tener veranos cálido-secos e inviernos templados y lluviosos (Sanz-Cobena et al., 2017, p. 5; Polade et al., 2017, p. 1): Europa, Australia, Suráfrica, Suramérica y California.

Figura 1. Regiones con clima mediterráneo



Fuente: Sanz-Cobena et al. (2017, p. 5).

Salata et al. (2015, p. 59) definen el rango de confort para regiones mediterráneas de 21,1 °C a 29,2 °C, el cual corresponde al periodo anual, rango obtenido mediante valores de la Physiological Equivalent Temperature (PET); además, presentan un resumen con

los rangos obtenidos por varios estudios en espacios exteriores (tabla 1); por su parte, Cohen et al. (2013, p. 1) indican que el rango de confort en clima mediterráneo está entre 20 °C y 25 °C, mediante el Voto de Sensación térmica neutral.

Tabla 1. Resultados de otros estudios examinados en términos de PET y rangos de confort de temperatura operativa

Ciudad	Rango de confort PET (°C)				Temperatura operativa (°C)
	Verano	Invierno	Estaciones transitorias	Año	Año
Glasgow, Escocia	-	-	-	9 ÷ 18	-
Tianjin, China	-	-	-	11 ÷ 24	-
Europa occidental/media	-	-	-	18 ÷ 23	-
El Cairo, Egipto	22 ÷ 30	21 ÷ 29	-	-	-
Damasco, Siria	n.a. ÷ 31	21 ÷ n.a.	-	-	-
Lago Sun Moon, Taiwán	-	-	-	26 ÷ 30	-
Ciudad Taichung, Taiwán	-	-	-	21,3 ÷ 30	-
Hong Kong, China (2.702 votos)	n.a. ÷ 32	12 ÷ n.a.	-	-	-
Szeged, Hungría	-	-	13,7 ÷ 20,3	-	-
Lisboa, Portugal	-	-	-	21 ÷ 23	-
Hong Kong, China (286 votos)	27 ÷ 29	14 ÷ 16	-	-	-
Singapur, Singapur	-	-	-	-	26,3 ÷ 31,7
Roma, Italia	-	-	-	21,1 ÷ 29,2	-

Fuente: Salata et al. (2015, p. 56).

Con base en lo anterior, se puede apreciar un parámetro universal de confortabilidad térmica exterior; no obstante, a fin de contar con indicadores específicos de un sitio particular, el objetivo de este tipo de estudios es aplicar evaluaciones de campo para identificar la sensación térmica de las personas con relación al espacio circundante, con el fin de estimar rangos de confort térmico que permitan ofrecer indicadores de diseño que, para este caso, corresponde a ciudades con clima mediterráneo.

Es importante mencionar que los resultados difundidos en este documento corresponden a los indicadores térmicos estimados para el periodo frío en la ciudad de Ensenada, México; no obstante, este estudio forma parte de una investigación integral que comprende los cuatro periodos térmicos representativos de un año normalizado (frío, cálido y dos de transición térmica, de frío a calor y viceversa).

METODOLOGÍA

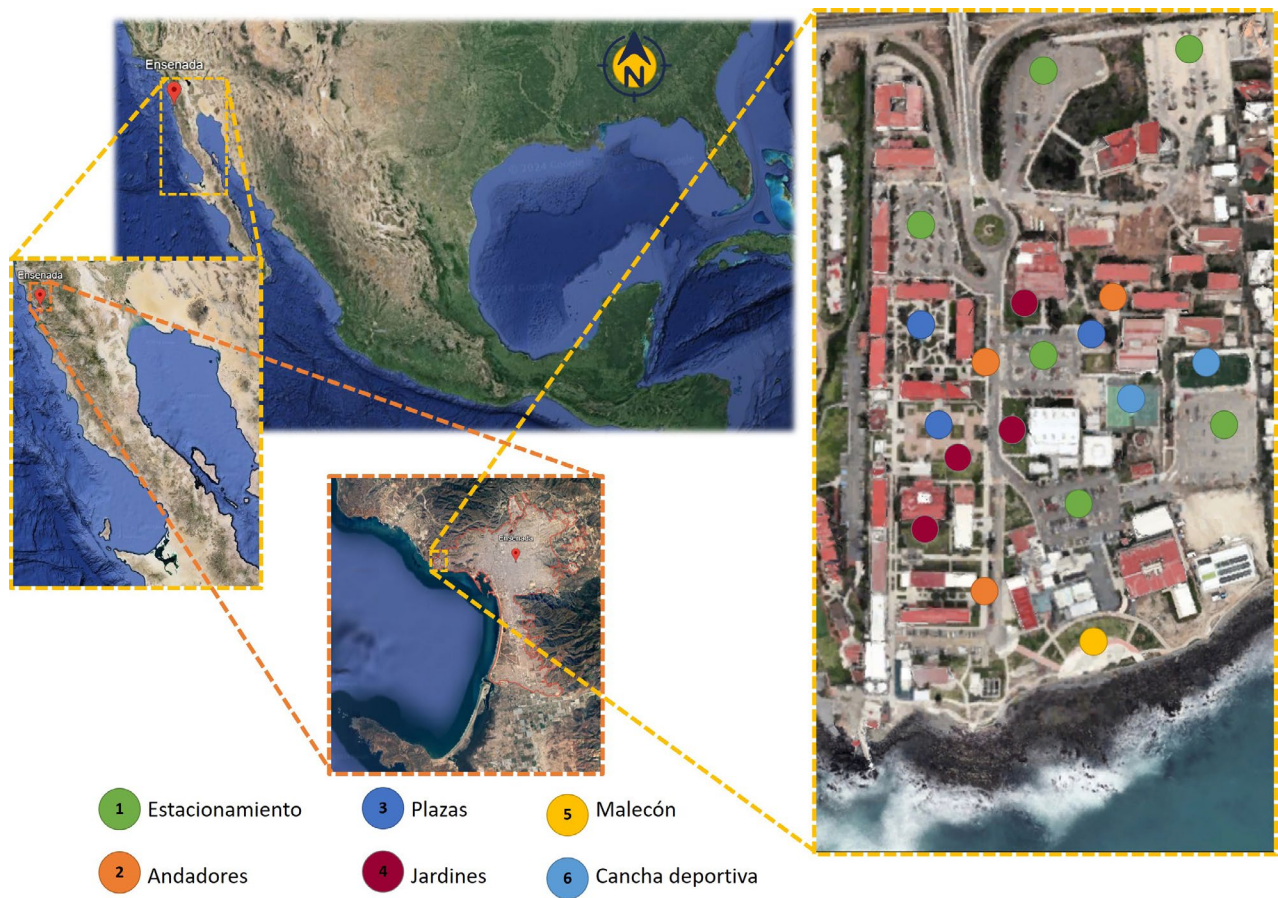
El estudio se desarrolló con las bases metodológicas del enfoque adaptativo, recomendado para condiciones exteriores (Bojórquez et al., 2010, p. 134), dada la naturaleza con la que los sujetos se exponen a las variables climáticas del sitio y las características físicas que presenta un espacio abierto. Además, se consideró la normativa internacional existente referente al confort térmico: ISO 7730 (2005), ISO 7726 (1998), ISO 10551 (1995) y ANSI/ASHRAE 55 (2023) En general, la metodología abordada consta de dos procesos simultáneos: el registro de la percepción de los usuarios y el monitoreo de las condiciones ambientales a las que se encontraban expuestos.

Selección del sitio

El estudio se llevó a cabo en la ciudad de Ensenada, México. Presenta clima mediterráneo y se ubica al noroeste del país, en las coordenadas geográficas 31° 51' 28" N, 116° 36' 21" O (figura 2).

Los espacios de evaluación utilizados se encuentran demarcados en la Universidad Autónoma de Baja California, dada su diversidad y facilidad de acceso; entre otros: andadores, estacionamientos, malecón, jardines y plazas (figura 2). Lo anterior, con el fin de permitir una interpolación con aquellos ubicados en el resto de la ciudad.

Figura 2. Ubicación del sitio de estudio: de escala nacional a escala local



Fuente: elaboración propia (2024). CC BY.

Muestra poblacional

El universo de estudio considerado fue el total de población de la ciudad de Ensenada para 2020, equivalente a 535 361 habitantes. Así, la muestra poblacional fue diseñada estadísticamente mediante el uso de la herramienta Sample Size Calculator® (Creative Research Systems, 2012) con un nivel de confianza del 95 % y un intervalo de confianza del 5 %.

La evaluación de los sujetos que conformaron la muestra se distribuyó en función de la duración del estudio, por lo que la meta de evaluaciones diarias correspondió a 24 sujetos. Adicionalmente, se consideraron dos evaluaciones de control, tanto al inicio como al final del periodo de evaluaciones.

Periodo de evaluación

De acuerdo con el análisis climático de Ensenada, desarrollado por Rincón-Martínez et al. (2020, p. 5), el periodo frío se presenta en febrero, por lo que las evaluaciones se recabaron entre el 27 de enero y el 28 de febrero de 2020, periodo en el que la temperatura media es de 13,5 °C.

Para determinar el horario de evaluación, se consideraron los momentos térmicos extremos de un día normalizado (Fuentes, 2004), las 06:00 y las 15:00 h, respectivamente, las cuales hacen referencia a las horas más fría y más cálida del día. A este respecto, y considerando además los horarios de uso de los espacios, las evaluaciones

se realizaron entre las 07:00 y 09:00 h, y las 15:00 y 17:00 h, respectivamente.

Herramientas e instrumentos de evaluación

Para la evaluación de la sensación y la preferencia térmica de los sujetos se diseñó un cuestionario (figura 3) cuya estructura se conformó con 23 reactivos organizados en 6 secciones:

- 1. Datos de control (6 reactivos).
- 2. Información del participante (4 reactivos).
- 3. Sensación ambiental del espacio (3 reactivos).
- 4. Preferencia ambiental del espacio (3 reactivos).
- 5. Información complementaria (2 reactivos).
- 6. Monitoreo físico del ambiente térmico (5 reactivos).

El cuestionario tomó como referencia la escala subjetiva de siete puntos mencionada en la ISO 10551 (1995, p. 9) y la ANSI/ASHRAE 55 (2023, p. 39), la cual fue adaptada gráficamente (por medio de emojis) a fin de que los sujetos identificaran de forma simple las posibilidades de respuesta con respecto a su sensación del ambiente térmico. La adaptación se realizó a partir de dos herramientas complementarias al cuestionario: un cubo con emojis en cada una de sus seis vistas, y un lienzo que concentraba, a modo de listado y desde una misma vista, los mismos emojis (figura 4).

Objetivo: Identificar la sensación y la preferencia térmicas de las personas residentes de la ciudad de Ensenada, con el fin de estimar algunos modelos locales de confort térmico para el periodo cálido 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. Fecha (dd/mm/aa) _____	05. Hora final (hh:mm) _____
03. Encuestadores _____	06. Interior / Exterior _____

B. Información del participante

07. Edad _____ años _____

08. ¿Cuál es su sexo?

1) Hombre 2) Mujer

09. ¿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

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

11. ¿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 resultante 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
---	--	--	---	--	--	--

12. ¿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, resquead eventual en los labios	6) Seco Incomodidad ocasional, resquead en piel y labios	7) Muy seco Incomodidad permanente; el aire, la nariz y la garganta son secos
--	---	---	--	--	--	---

13. ¿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	5) Sin viento Aire pesado, no se mueve, se percibe mucho sofocamiento
---	--	---	---	---

D. 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

14. ¿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
--	--	--	--	--	---	---

15. Si usted pudiera elegir el nivel de **humedad** que se presenta al interior del espacio, decidiría que éste fuera: (*preferencia hídrica*)

☐ 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
--	--	--	--	--	--------------------------------------	--

16. Con base en la cantidad de **viento** que ingresa al espacio, usted preferiría: (*preferencia eólica*)

☐ 1) Más viento	☐ 2) Sin cambio	☐ 3) Menos viento
--	--	--

E. Información complementaria

17. ¿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
---	----------------------------------	---------------------------------------	--	--	---------------------------------	-------------------------------------

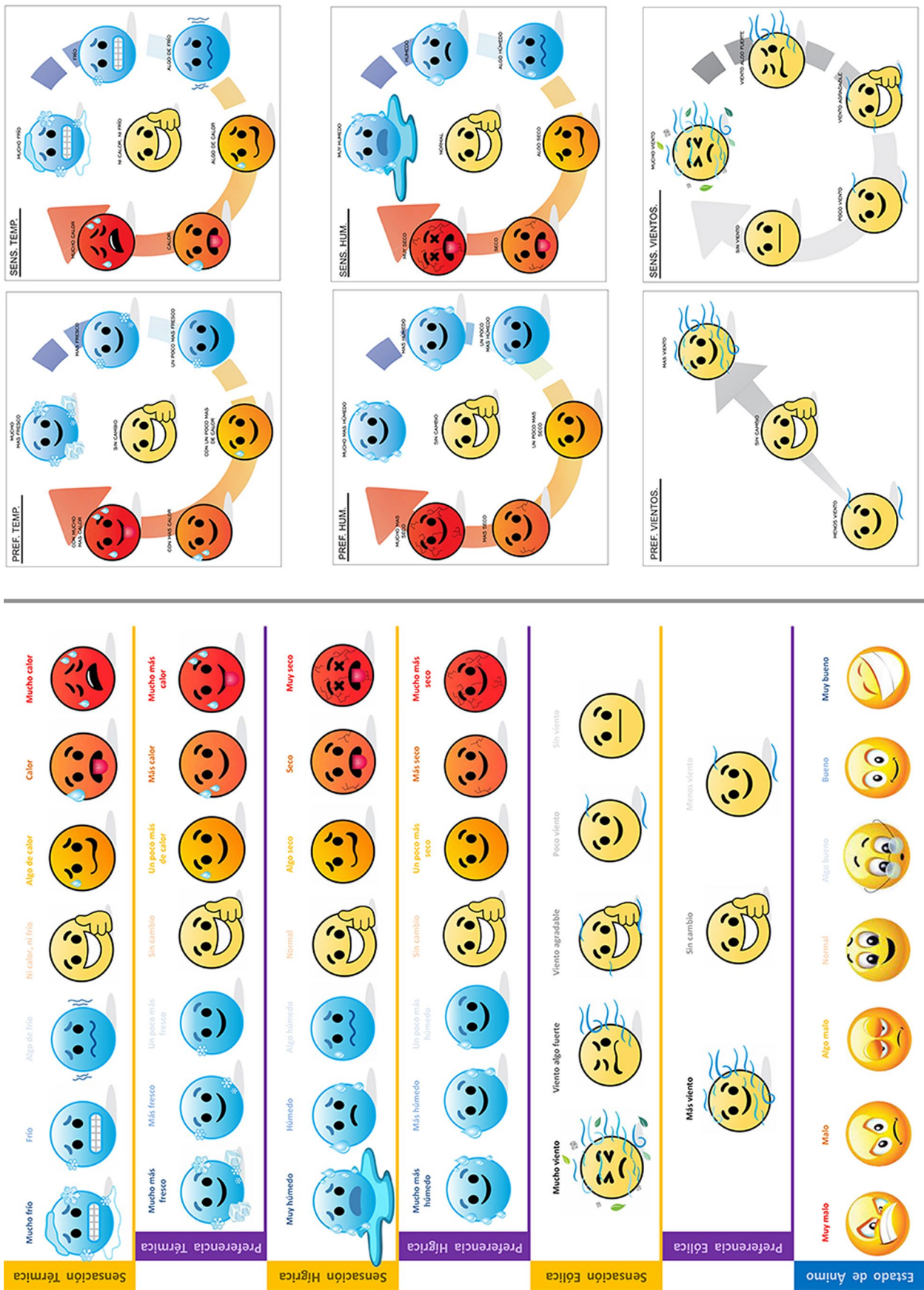
18. Notas adicionales:

Situaciones relevantes o atípicas que influyen en la percepción ambiental del participante: Expuesto al Sol / En plena sombra; ingesta constante de bebida; con gorra, sombrilla o sombrero, etc.

F. Monitoreo físico del ambiente térmico <i>(Estos datos deben ser asentados conforme a lo REGISTRADO por los instrumentos de medición)</i>			
Variable Ambiental	QUESTemp 36-3 11	QUESTemp 36-3 12	QUESTemp 36-3 13
19. Temp. de Bulbo Seco _{interior} (°C)	BS		
20. Humedad Relativa _{interior} (%)	HR		
21. Temp. de Bulbo Húmedo (°C)	BH		
22. Temperatura de Globo (°C)	GLOBO		
23. Velocidad del Viento (m/s)	FLUJO		

156 | REVISTA DE ARQUITECTURA (BOGOTÁ)

Figura 4. Adaptación gráfica de escala subjetiva en cubo y listado



Fuente: Rincón-Martínez et al. (2020). CC BY.

Los equipos de trabajo consistieron en cuadrillas de tres personas, dos para realizar las evaluaciones y una como asistente para el traslado y la protección de los instrumentos de medición física.

Instrumentos de medición y variables ambientales

De manera simultánea a la aplicación del cuestionario, se registraron las variables del ambiente

térmico: temperatura de bulbo seco (TBS), humedad relativa (HR) y velocidad del viento (VV). Para llevar a cabo la medición de las variables ambientales se utilizó un monitor de ambiente térmico clase I, marca 3M, modelo QUESTemp 36-3 (figura 5). Cuenta con una resolución de 0,1 °C para la TBS, 0,1 % para la HR y 0,1 m/s para la VV; así como una precisión de ±0,5 °C para la TBS, ±5,0 % para HR, y ±0,1 m/s (±4,0 % lectura) para la VV. Los instrumentos se

ubicaron a diferentes alturas en función de la posición de la persona por evaluar: 0,1 m; 1,1 m y 1,7 m para personas de pie; y 0,1 m; 0,6 m y 1,1 m para personas sentadas (ISO 7726, 1998, p. 11).

Tanto la selección como la distribución y la operación del equipo de medición se llevaron a cabo con base en lo establecido en la ISO 7726 (1998) y la ANSI/ASHRAE 55 (2023).

Figura 5. Instrumento de medición y de registro de variables físicas



Fuente: elaboración propia (2020). CC BY.

Procedimiento de evaluación

La selección de los sujetos de estudio se hizo aleatoriamente, sin distinción de sexo, edad, arropamiento ni actividad, en situaciones o condiciones de hábitat cotidiano y con pleno respeto a las acciones de adaptación para conseguir el confort térmico en el entorno inmediato. Esto, con el fin de conformar una base de datos que concentre la percepción heterogénea y real de la población objetivo, así como las diferentes actitudes de adaptación al entorno térmico, en aras de estimar indicadores apropiados para las condiciones particulares del caso de estudio.

Posterior a la selección del sujeto, la cuadrilla de trabajo colocó los instrumentos de medición a una distancia aproximada de 1,20 m ANSI/ASHRAE 55 (2023).

Con el fin de recibir mayor aceptación para responder el cuestionario, de los 23 reactivos solo ocho fueron aplicados a los sujetos de estudio, aquellos relacionados directamente con la percepción al ambiente inmediato (sensación y preferencia del ambiente térmico); el resto de preguntas fueron recabadas a partir de la observación (sexo, nivel de arropamiento, actividad desarrollada, etc.). Durante este proceso se utilizó el apoyo gráfico de las escalas subjetivas de siete puntos, descritas en párrafos anteriores (cuestionario, cubo y listado) (figura 6). Con esta dinámica se evidenció el incremento en el grado de certidumbre con la que los sujetos emitieron su respuesta. Simultáneamente a la aplicación del cuestionario, se registraron los valores mostrados por los instrumentos de medición física. En promedio, el tiempo de aplicación del cuestionario fue de dos minutos.

Al término de las evaluaciones se procedió al traslado de los instrumentos de medición al lugar de resguardo. Posteriormente, se capturaron los

datos en Microsoft Excel®, a partir de valores meramente numéricos, con el propósito de procesarlos con el menor grado de error.

Figura 6. Traslado de equipo y aplicación de cuestionario con herramientas alternas y diversas posiciones



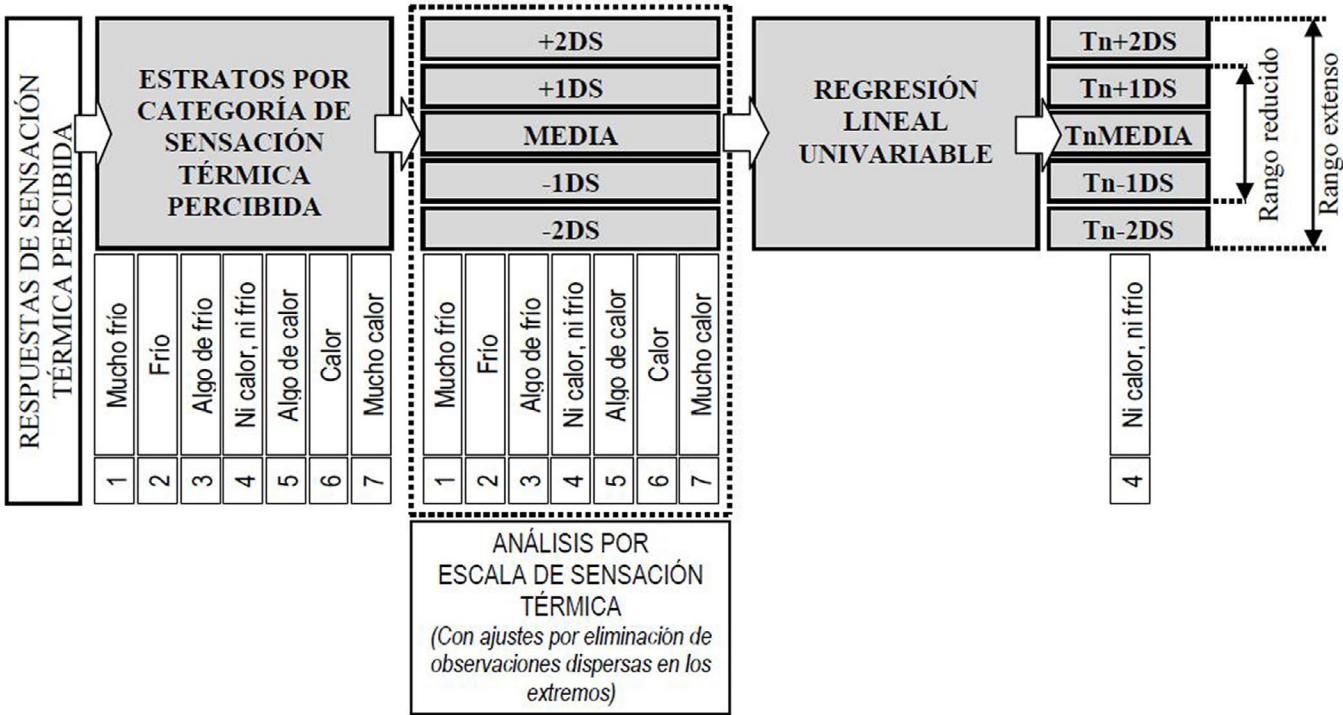
Fuente: elaboración propia (2020). CC BY.

Procesamiento de datos

Los datos fueron correlacionados mediante el Método de Medias por Intervalos de Sensación Térmica (MIST) propuesto por Gómez-Azpeitia et al. (2007), citado y aplicado por Bojórquez et al. (2010) y por Rincón-Martínez et al. (2020), entre otros. El método consiste en correlacionar estadísticamente la sensación térmica (ST) con

cada una de las variables físicas registradas, adicionando y sustrayendo 1 y 2 veces la desviación estándar (DS) de cada media para determinar el rango de confort reducido y el rango de confort reducido extenso, respectivamente. Para calcular el valor de neutralidad, se utilizó la abscisa que resulta del cruce de la ordenada 4 con la línea de regresión (figura 7).

Figura 7. Estimación de valor neutro de temperatura (Tn) con el método de medias por intervalo de sensación térmica



Fuente: Rincón-Martínez et al. (2020)®.

RESULTADOS

Se recogieron 743 observaciones, de las cuales solo 670 fueron consideradas para el análisis, ya que el resto presentaron cierto grado de incertidumbre. Ninguna de las observaciones se presentó por encima de la categoría *Calor*, debido a que el estudio se realizó durante el periodo frío.

Sensación térmica por temperaturas

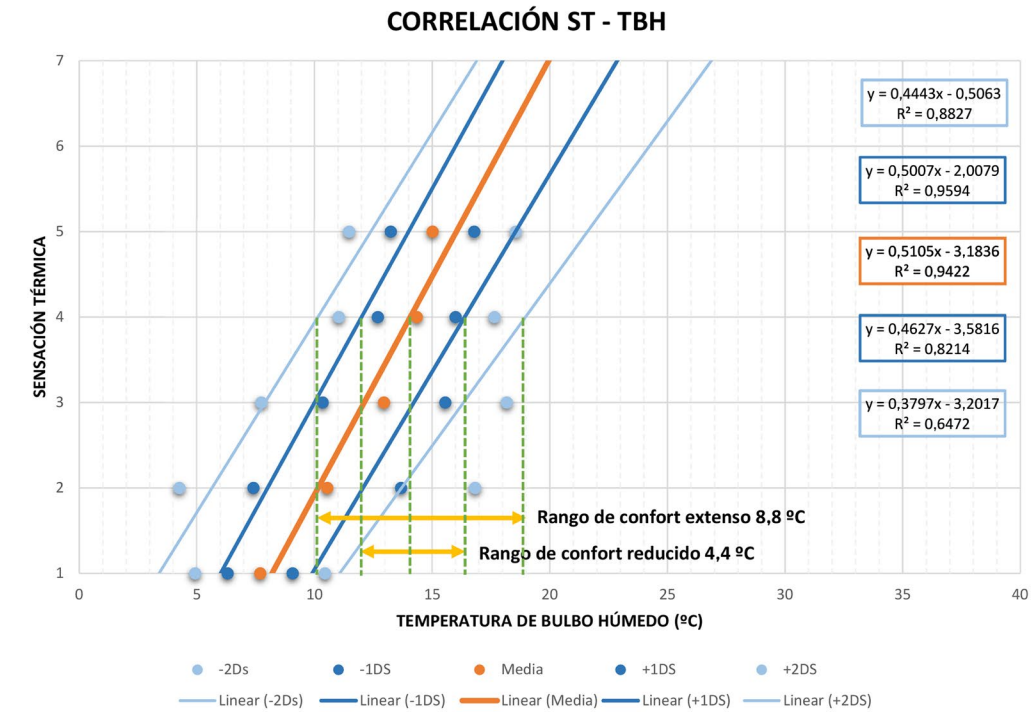
Con base en la correlación de los datos fue posible estimar la temperatura de bulbo húmedo neutral (TBHn) en 14,1 °C, con un

rango reducido de confort de 12,0 °C a 16,4 °C y un rango extenso de confort de 10,1 °C a 19,0 °C; los rangos de confort no fueron equidistantes a la TBHn, pues el límite superior presenta mayor alejamiento respecto al valor neutro (figura 8), lo que significa que la adaptación se da por encima de la temperatura media. Los valores de la media dentro de los rangos de confort extenso corresponden a las categorías 2 a 5 (*Frío a Calor*), mientras que para el reducido solo corresponden de la 3 a la 5 (*Algo de frío a Calor*).

Figura 8. Temperatura de bulbo húmedo neutral y rangos de confort para periodo frío

DS	ST	ESCALA	-2Ds	-1DS	Media	+1DS	+2DS
1,4	Mucho frío	1	4,9	6,3	7,7	9,1	10,5
3,1	Frío	2	4,3	7,4	10,5	13,7	16,8
2,6	Algo de frío	3	7,7	10,4	13,0	15,6	18,2
1,7	Ni calor, ni frío	4	11,0	12,7	14,3	16,0	17,7
1,8	Algo de calor	5	11,5	13,2	15,0	16,8	18,6
	Calor	6					
	Mucho calor	7					

TBH	TBHn -2Ds	TBHn -1DS	TBHn Media	TBHn +1DS	TBHn +2DS
NEUTRAL	10,1	12,0	14,1	16,4	19,0
Umbral	-4	-2,1		2,3	4,9



Fuente: elaboración propia (2020). CC BY.

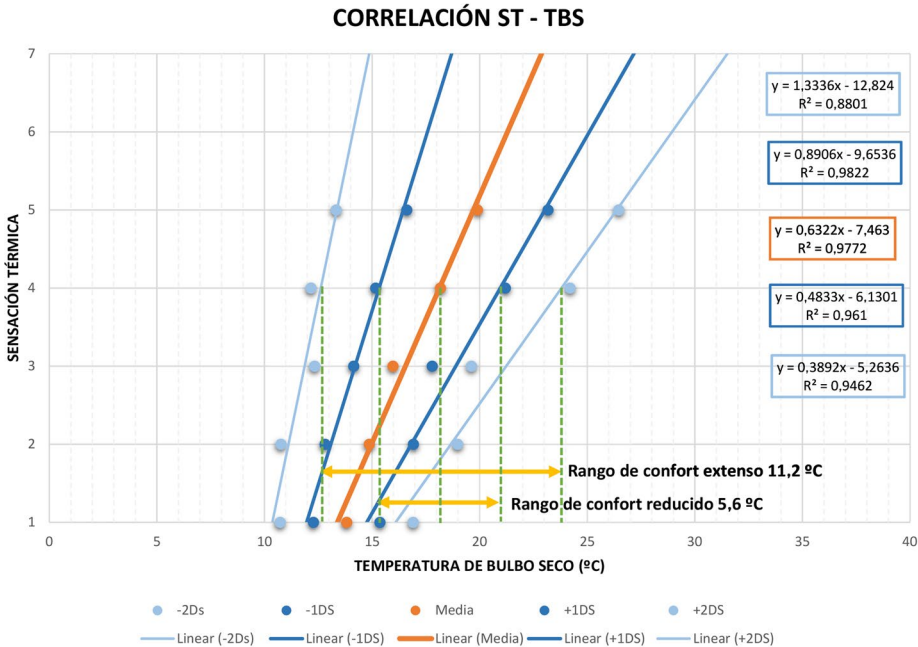
Por su parte, la temperatura de bulbo seco neutral (TBSn) se estimó en 18,1 °C, con un rango de confort reducido de 15,3 °C a 21,0 °C, y un extenso de 12,6 °C a 23,8 °C. En este caso, los rangos de confort son equidistantes a la TBSn con

un umbral de ±2,8 °C y ±5,5 °C, respectivamente (figura 9). Todos los valores medios están dentro del rango de confort extenso; sin embargo, los valores extremos que representan la -2 DS no se encuentran dentro de ningún rango de confort.

Figura 9. Temperatura de bulbo seco neutral y rangos de confort para periodo frío.

DS	ST	ESCALA	-2Ds	-1DS	Media	+1DS	+2DS
1,5	Mucho frío	1	10,7	12,3	13,8	15,4	16,9
2,1	Frío	2	10,8	12,8	14,9	16,9	19,0
1,8	Algo de frío	3	12,3	14,2	16,0	17,8	19,6
3,0	Ni calor, ni frío	4	12,2	15,2	18,2	21,2	24,2
3,3	Algo de calor	5	13,3	16,6	19,9	23,2	26,5
	Calor	6					
	Mucho calor	7					

TBS	TBSn -2Ds	TBSn -1DS	TBSn Media	TBSn +1DS	TBSn +2DS
NEUTRAL	12,6	15,3	18,1	21,0	23,8
Umbral	-5,5	-2,8		2,9	5,7

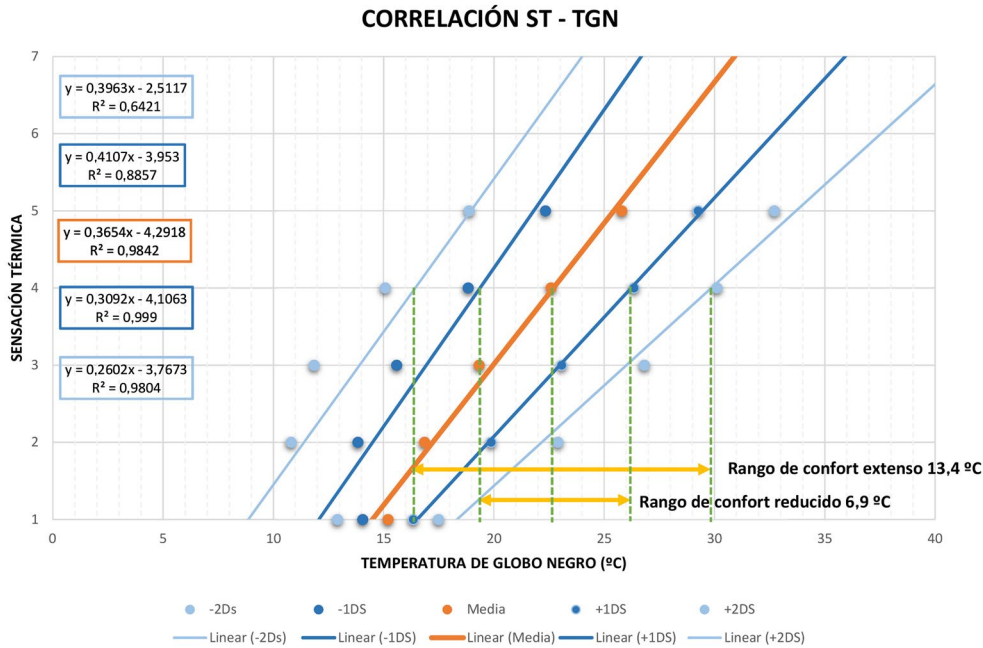


Fuente: elaboración propia (2020). CC BY.

Figura 10. Temperatura de globo negro neutral y rangos de confort para periodo frío

DS	ST	ESCALA	-2Ds	-1DS	Media	+1DS	+2DS
1,1	Mucho frío	1	12,9	14,1	15,2	16,3	17,5
3,0	Frío	2	10,8	13,8	16,9	19,9	22,9
3,7	Algo de frío	3	11,8	15,6	19,3	23,1	26,8
3,8	Ni calor, ni frío	4	15,1	18,8	22,6	26,4	30,1
3,5	Algo de calor	5	18,9	22,3	25,8	29,3	32,7
	Calor	6					
	Mucho calor	7					

TGN	TGNn -2Ds	TGNn -1DS	TGNn Media	TGNn +1DS	TGNn +2DS
NEUTRAL	16,4	19,4	22,7	26,2	29,9
Umbral	-6,3	-3,3		3,5	7,2



Fuente: elaboración propia (2020). CC BY.

La temperatura de globo negro neutral (TGNn) resultó en 22,7 °C, con un rango de confort reducido de 19,4 °C a 26,2 °C, y uno extenso de 16,4 °C a 29,9 °C. El límite superior del rango de confort extendido (+2 DS) presenta mayor distanciamiento con respecto a la TGNn con un valor de +7,1 °C, mientras que el límite inferior representa -6,3 °C. Sin embargo, los límites superior e inferior del rango de confort reducido se encuentran equidistantes con respecto a la media (figura 10). Además, al igual que con la TBH, los valores medios se encuen-

tran dentro del rango de confort solo a partir de la categoría 2 (*Frío*).

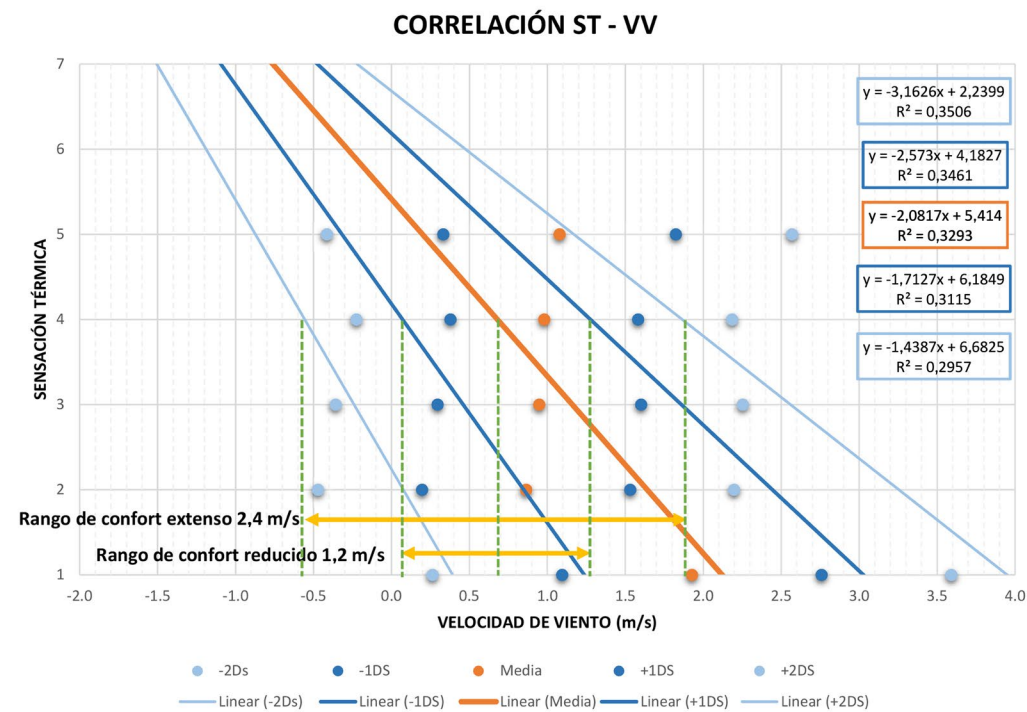
Sensación térmica por velocidad de viento y humedad relativa

La velocidad de viento neutra (VVn) estimada fue de 0,7 m/s, con un rango de confort reducido de 0,1 m/s a 1,3 m/s, y uno extenso de 0,0 m/s a 1,9 m/s; lo que representa una amplitud de ±0,6 m/s y ±0,95 m/s, respectivamente (figura 11).

Figura 11. Velocidad de viento neutral y rangos de confort para periodo frío

DS	ST	ESCALA	-2Ds	-1DS	Media	+1DS	+2DS
0,8	Mucho frío	1	0,3	1,1	1,9	2,8	3,6
0,7	Frío	2	-0,5	0,2	0,9	1,5	2,2
0,7	Algo de frío	3	-0,4	0,3	0,9	1,6	2,3
0,6	Ni calor, ni frío	4	-0,2	0,4	1,0	1,6	2,2
0,7	Algo de calor	5	-0,4	0,3	1,1	1,8	2,6
	Calor	6					
	Mucho calor	7					

VV	VVn -2Ds	VVn -1DS	VVn Media	VVn +1DS	VVn +2DS
NEUTRAL	-0,6	0,1	0,7	1,3	1,9
Umbral	-1,3	-0,6		0,6	1,2



Fuente: elaboración propia (2020). CC BY.

En el caso particular del análisis de la sensación térmica por humedad relativa, el número de observaciones consideradas se redujo a 502, porque se omitieron datos que representaban riesgos en el comportamiento típico de la regresión lineal, debido a las condiciones ambientales especiales llamadas Vientos de Santa Ana que se presentaron durante la aplicación de cuestionarios. La humedad relativa

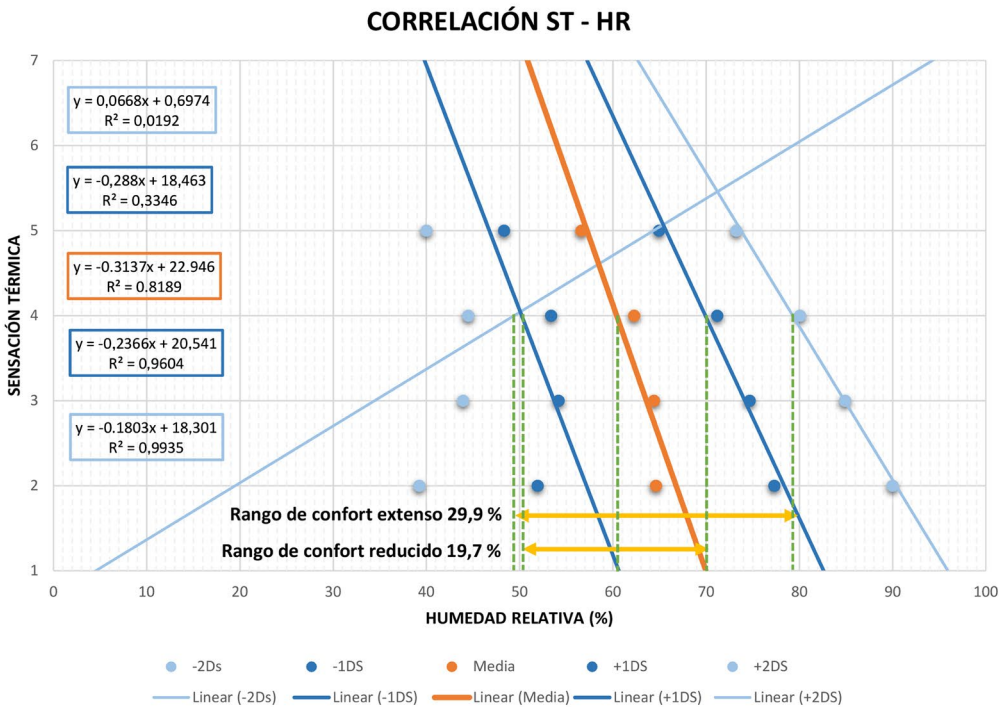
neutra (HRn) se estimó en 60,4 %, con rango de confort reducido de 50,2 % a 69,9 %, y uno extenso de 49,4 % a 79,3 %.

La mayoría de las observaciones registradas, tanto en la media como en la adición de ±1 DS, se encuentran dentro de los rangos de confort, principalmente los de las escalas 2, 3 y 4 (*Frío*, *Algo de frío* y *Ni calor, ni frío*) (figura 12).

Figura 12. Humedad relativa neutral y rangos de confort para periodo frío

DS	ST	ESCALA	-2Ds	-1DS	Media	+1DS	+2DS
	Mucho frío	1					
12,7	Frío	2	39,2	51,9	64,6	77,3	90,0
10,2	Algo de frío	3	43,9	54,2	64,4	74,7	84,9
8,9	Ni calor, ni frío	4	44,5	53,4	62,3	71,2	80,1
8,3	Algo de calor	5	40,0	48,3	56,6	65,0	73,3
	Calor	6					
	Mucho calor	7					

HR	HRn -2Ds	HRn -1DS	HRn Media	HRn +1DS	HRn +2DS
NEUTRAL	49,4	50,2	60,4	69,9	79,3
Umbral	-11	-10,2		9,5	18,9



Fuente: elaboración propia (2020). CC BY.

DISCUSIÓN

El coeficiente de determinación (R^2) en las variables de temperatura es alto, según Bojórquez (2010), ya que los valores de R^2 se encuentran por encima del 0,88. Con respecto a la humedad relativa, es alto, solo para las líneas de regresión media y las desviaciones estándar +1 y +2, con valores superiores al 0,81; presentando un bajo grado de dispersión en las desviaciones estándar negativas con valores de 0,01 para -2 DS y 0,33 para -1 DS. En la variable de velocidad de viento es en la que se observa menor coeficiente de determinación, incluso en línea de regresión media, con un valor de $R^2= 0,32$.

Durante el periodo de estudio, los evaluados mostraron diversos niveles de adaptación conforme el ambiente térmico. La escala 1 de sensación térmica se relaciona con evaluados ubicados en sombra, en actividad pasiva, independientemente de que tengan arropamiento por encima de 1,5 clo, ya que interviene la velocidad de viento elevada. Para los demás niveles, el arropamiento era entre 1,0 y 1,5 clo, con actividades pasivas y ligeras, y una velocidad por debajo de 1,0 m/s; estas condiciones permitieron que el mayor número de evaluados se encontrara dentro del rango de confort para periodo frío.

CONCLUSIONES

A pesar de ser regiones climáticas similares (mediterráneas), existen diferencias significativas en los rangos de confort derivadas de las particularidades locales que cada sitio presenta.

Los rangos de confort térmico estimados para el periodo frío de la ciudad de Ensenada respecto a la sensación térmica, se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Rangos de confort para el periodo frío de la ciudad de Ensenada

Parámetro de confort estimado	TBH	TBS	TGN	VV	HR
Límite superior del rango de confort	19,0 °C	23,8 °C	29,9 °C	1,9 m/s	79,3 %
Variable neutra	14,1 °C	18,1 °C	22,7 °C	0,7 m/s	60,4 %
Límite inferior del rango de confort	10,1 °C	12,6 °C	16,4 °C	-0,6 m/s	49,4 %
Amplitud del rango de confort	-4,0 K / 4,9 K	-5,5 K / 5,7 K	-6,3 K / 7,2 K	±1,2 m/s	-11 % / 18,9 %

Fuente: elaboración propia (2020). CC BY.

Por lo tanto, el rango de temperatura estimado con el método MIST para el periodo térmico frío se establece en 12,6 a 23,8 °C, el cual es menor al establecido por Cohen et al. (2013, p. 1) para el mismo periodo y condiciones climáticas similares, tanto con respecto al límite inferior como al superior, con una diferencia de 6,4 K y 1,2 K, respectivamente. De igual manera, el límite inferior estimado en el presente estudio resultó menor al presentado por Yahia y Johansson (2013, p. 1) mediante el PET, con una diferencia de 8,4 K. Así mismo,

presenta las mismas diferencias con relación a los límites inferiores del rango de confort anual presentados por Andrade et al. (2011, p. 677) y Salata et al. (2015, p. 1).

En la tabla 3 se muestran los rangos de confort térmico estimados para diferentes ciudades con base en las investigaciones consultadas como parte del estado del arte de este estudio, con el fin de presentar un referente respecto a los resultados obtenidos y su posible aplicabilidad en sitios con condiciones físicas similares.

Tabla 3. Comparación de rangos de confort en periodo frío o anual en ciudades de clima mediterráneo

Ciudad	Clasificación climática	Método	Rango de confort en invierno	Rango de confort anual
Damasco, Siria (Yahia & Johansson, 2013)	Bsk	PET	21 - n.a. °C	
Ensenada, México (presente estudio)	Bsk	MIST	12,6 ÷ 23,8 °C	
Lisboa, Portugal (Andrade et al., 2011)	Csa	PET	-	21 ÷ 23 °C
Roma, Italia (Salata et al., 2015)	Csa	PET	-	21,1÷ 29,2 °C
Tel Aviv, Israel (Cohen et al., 2013)	Csa	PET	19 - 25 °C	19 – 26 °C

Fuente: elaboración propia (2020). CC BY.

El hecho de que el rango de confort estimado por el método MIST sea más bajo que los establecidos en las investigaciones analizadas se debe a varios factores: las condiciones específicas de cada sitio y a las características específicas de cada investigación.

Ensenada es una ciudad costera que colinda con el océano Pacífico, por lo que tiene una influencia directa del mar, lo que da como resultado una humedad relativa promedio anual de 75 %, con temperatura promedio máxima y mínima de 21,4 °C y 13,2 °C, respectivamente. En comparación, Damasco, que tiene la misma clasificación climática que Ensenada, se encuentra a 620 msnm y no cuenta con cuerpos de agua

cercanos, presenta temperaturas mínimas en invierno alrededor de los 0 °C, y una humedad relativa máxima del 60 % durante el invierno y cercana al 45 % durante el verano. Otra comparación es con Roma, que no tiene la misma clasificación climática, pero presenta condiciones de humedad relativa similares a las de Ensenada, a pesar de no contar con cuerpos de agua cercanos —el mar, como en el caso de Tel-Aviv (que presenta un rango de humedad relativa entre 55 % y 60 % en invierno), o ríos, como en Lisboa—.

En cuanto a las diferencias de las investigaciones, en la presente se efectuaron las entrevistas en dos horarios específicos y considerados

los más críticos en cuestión de temperaturas, mientras que en la investigación de Andrade et al. (2011) se efectuaron las entrevistas solamente por las tardes a mujeres y hombres (53 % y 47 %, respectivamente) en diferentes grupos de edad, principalmente entre 25-34 años, en diferentes niveles de actividad, principalmente de pie (75 %) y con un arropamiento máximo de 1,75 clo en invierno. Los espacios donde se llevaron a cabo las encuestas se encuentran a la orilla del río Tagus, son principalmente abiertos, áreas pavimentadas o ajardinadas; por su parte, en Cohen et al. (2013) se llevaron a cabo en tres tipos de espacios abiertos: parque urbano, una plaza pública y una calle cañón, en un periodo de cuatro años, y la mayor cantidad de encuestas se realizaron durante el invierno (931 de 1731), en un rango de edades menores a 50 años, predominando el grupo entre 30 a 40 años. En la de Salata et al. (2015, p. 51), las entrevistas se realizaron durante el día, en diferentes horarios, en rangos de horas más amplios que los utilizados en el presente estudio, y efectuaron la mayor cantidad de entrevistas durante el periodo de invierno (32 %). Los usuarios fueron mujeres y hombres (41 % y 59 %, respectivamente), con el grupo de edad predominante de 19 a 24 años. Las áreas de estudio se encontraban rodeadas por edificaciones de dos o más niveles y en algunos casos sombreados con vegetación. No hacen referencia a los resultados de arropamiento y actividad.

En Yahia y Johansson (2013, p. 617), las áreas de estudio eran similares a las del presente

estudio, pero en horarios predominantemente al mediodía; solo efectuaron dos encuestas en invierno en un horario alrededor de las 08:00 h y la mayoría concluían máximo a las 15:00 h.

Con lo anterior, se establece la importancia de determinar los rangos de confort específicos de cada región, ya que permite ofrecer diseños arquitectónicos y paisajísticos congruentes con los requerimientos del sitio y los procesos de adaptación del ocupante.

Es necesario analizar las características físicas propias de cada sitio, las condiciones de uso y las características de los usuarios, para poder crear propuestas de diseño de espacios exteriores acordes a las necesidades del sitio.

Con los rangos de confort establecidos en el presente estudio se pueden desarrollar estrategias específicas de diseño según las características de la población, en las diferentes ciudades de las cinco regiones mediterráneas que cuenten con características geográficas similares, así como similitudes en temperaturas promedio, altitud y cercanía al mar, ya que todas ellas cuentan con territorio costero.

Si bien la presente investigación se enfoca en determinar el rango de confort para espacios exteriores en ciudades con clima mediterráneo, esta puede tomarse como referencia para futuras investigaciones de la habitabilidad en espacios exteriores, como metodología para establecer rangos de confort en diferentes periodos térmicos y/o en otros tipos de clima.

CONTRIBUCIONES Y AGRADECIMIENTOS

Este artículo deriva de una investigación llevada a cabo en la Universidad Autónoma de Baja California por el Cuerpo Académico UABC-CA-300 Arquitectura, Medio Ambiente y Energía, en el marco de Arquitectura Bioclimática y Sustentabilidad, y como parte de los trabajos de la asignatura Modelos de Confort Térmico del Programa de Doctorado en Arquitectura, Urbanismo y Diseño en la línea de investigación de Arquitectura y Medio Ambiente.

Esta publicación forma parte de la línea de investigación de Confort Térmico del proyecto denominado: “Estudios del potencial térmico

del suelo de Ensenada dirigido a la implementación de estrategias de acondicionamiento pasivo”, financiado por el Programa para el Desarrollo Profesional Docente para el Tipo Superior (PRODEP), con IDCA 28903, en el marco de la convocatoria 2018.

Los autores de este trabajo han realizado las siguientes contribuciones: Martínez-Bermúdez, E., el análisis de datos y la interpretación de los resultados; Rincón-Martínez, J.C., la concepción del estudio y el diseño experimental. Los autores declaran que no tienen conflictos de interés relevantes en relación con la investigación presentada.

REFERENCIAS

- American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers [ANSI/ASHRAE] 55. (2023). *Thermal environmental conditions for human occupancy*. <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy>
- Andrade, H., Alcoforado, M. J., & Oliveira, S. (2011). Perception of temperature and wind by users of public outdoor spaces: Relationships with weather parameters and personal characteristics. *International Journal of Biometeorology*, 55(5), 665-680. <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0379-0>
- Bojórquez, G. (2010). *Confort térmico en exteriores: actividades en espacios recreativos, en clima cálido seco extremo* [Tesis, Universidad de Colima]. https://sistemas.ucol.mx/tesis_posgrado/resumen1717.htm
- Bojórquez, G., Gómez-Azpeitia, L. G., García-Cueto, O. R., Ruiz-Torres, R. P., & Luna, A. (2010). Temperatura neutral y rangos de confort térmico para exteriores, período cálido en clima cálido seco. *Ambiente Construido*, 10(2), 133-146. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212010000200009>
- Cohen, P., Potchter, O., & Matzarakis, A. (2013). Human thermal perception of Coastal Mediterranean outdoor urban environments. *Applied Geography*, 37(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.11.001>
- Creative Research Systems. (2012). *Sample size calculator*. The Survey System. <http://www.surveysystem.com/sscalc.htm>
- Fuentes, V. (2004). *Clima y arquitectura*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.
- International Organization for Standardization [ISO] 10551. (1995). *Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales* (First).
- International Organization for Standardization [ISO] 7726. (1998). *Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities*.
- International Organization for Standardization [ISO] 7730. (2005). *Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*.
- Polade, S. D., Gershunov, A., Cayan, D. R., Dettinger, M. D., & Pierce, D. W. (2017). Precipitation in a warming world: Assessing projected hydro-climate changes in California and other Mediterranean climate regions. *Scientific Reports*, 7(1), 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11285-y>
- Rincón-Martínez, J. C., Martínez-Torres, K. E., González-Trevizo, M. E., & Fernández-Melchor, F. (2020). Modelos matemáticos para estimar el confort térmico adaptativo en espacios interiores: Un estudio en la transición térmica de Ensenada, B.C. *Ingeniería Revista Académica de la Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán*, 24(1), 1-17. <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/ojs/index.php/ingenieria/article/view/186>
- Rincón, J., Bojórquez, G., Fuentes, V., & Calderón, C. (2017). Adaptive Thermal comfort in learning spaces: A study of the cold period in Ensenada, Baja California. *Journal of Natural Resources and Development*, 96-107. <https://doi.org/10.5027/jnrd.v7i0.12>
- Salata, F., Golasi, I., de Lieto Vollaro, R., & de Lieto Vollaro, A. (2015). Outdoor thermal comfort in the Mediterranean area. A transversal study in Rome, Italy. *Building and Environment*, 96, 46-61. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.11.023>
- Sanz-Cobena, A., Lassaletta, L., Aguilera, E., Prado, A. del, Garnier, J., Billen, G., ... Smith, P. (2017). Strategies for greenhouse gas emissions mitigation in Mediterranean agriculture: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 238(January 2017), 5-24. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.038>
- Yahia, M. W., & Johansson, E. (2013). Evaluating the behaviour of different thermal indices by investigating various outdoor urban environments in the hot dry city of Damascus, Syria. *International Journal of Biometeorology*, 57(4), 615-630. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0589-8>