



## Confort térmico adaptativo en cañón urbano: El caso de un clima mediterráneo Adaptive thermal comfort in an urban canyon: The case of a Mediterranean climate

Arriaga-Osuna Maria Fernanda  
Universidad Autónoma de Baja California  
<https://ror.org/05xwcq167>  
Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño  
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura,  
Urbanismo y Diseño  
Correo: [fernanda.arriaga@uabc.edu.mx](mailto:fernanda.arriaga@uabc.edu.mx)  
<https://orcid.org/0000-0002-2630-8332>

Martínez-Torres Karen Estrella  
Universidad Autónoma de Baja California  
<https://ror.org/05xwcq167>  
Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño  
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura,  
Urbanismo y Diseño  
Correo: [karen.martinez24@uabc.edu.mx](mailto:karen.martinez24@uabc.edu.mx)  
<https://orcid.org/0000-0002-6744-8622>

Rincón-Martínez Julio César  
Universidad Autónoma de Baja California  
<https://ror.org/05xwcq167>  
Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño  
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura,  
Urbanismo y Diseño  
Correo: [julio.rincon@uabc.edu.mx](mailto:julio.rincon@uabc.edu.mx)  
<https://orcid.org/0000-0002-1946-3609>

### Resumen

La naturaleza física del entorno urbano da lugar al fenómeno de la Isla de Calor Urbana (ICU), lo que propicia que el ambiente térmico de las ciudades sea incómodo al aumentar la temperatura del aire ( $T_a$ ) aproximadamente  $0.4\text{ }^\circ\text{C}$  al año. Al carecer de un ambiente térmico adecuado, se limita el uso de los espacios exteriores. Dichos efectos dejan en evidencia la importancia de estudiar las condiciones de confort térmico exterior, para establecer las bases que permitan la toma de decisiones en el proceso de diseño y planificación urbana. El objetivo de la investigación consistió en evaluar el confort térmico adaptativo a través de la sensación térmica del peatón de un cañón urbano en un área residencial. El estudio se realizó durante el período de transición de frío a cálido (primavera) en Ensenada, Baja California, México. Se desarrolló un estudio correlacional, donde se midieron distintas variables físicas del ambiente térmico (temperatura de globo negro, temperatura de bulbo seco, humedad relativa y velocidad del aire) y se aplicaron encuestas sobre sensación térmica, de las cuales se obtuvieron 211 observaciones, 114 (54.1 %) fueron respuestas de hombres y 97 (45.9 %) fueron respuestas de mujeres, de 18 a 30 años de edad. El análisis de datos se realizó con el método de Medias por Intervalo de Sensación Térmica (MIST), donde se observó el fenómeno de adaptación por el comportamiento de las sensaciones térmicas registradas y los rangos de confort térmico (reducido y extenso) estimados a través de las desviaciones estándar (DS). El rango de confort reducido y extenso para la sensación térmica fue de 2.7 K y 5.4 K, respectivamente; para la sensación higríca fue de 13.2 % y 26.3 %, respectivamente; y para la velocidad del viento fue de 2.6 m/s y 4.2 m/s, respectivamente.

**Descriptor:** Ambiente térmico, confort térmico exterior, enfoque adaptativo, isla de calor urbana, microclima.

### Abstract

The physical nature of the urban environment contribute to the formation of Urban Heat Islands (UHIs), making many cities thermally uncomfortable by increasing air temperature ( $T_a$ ) by approximately  $0.4\text{ }^\circ\text{C}$  per year, with negative effects towards thermal comfort. Leading to limitations in the use of outdoor spaces due to the absence of an adequate thermal environment. These effects show the importance of studying the thermal sensations of these places in order to establish the bases for correct decision-making in the design and urban planning process. The objective of this work was to evaluate the adaptive thermal comfort through the thermal sensation of the pedestrian of an urban canyon in a residential area. For the study, the period of transition from cold to warm (spring) in Ensenada, Baja California, Mexico was chosen. A correlational study was developed, where different physical variables of the thermal environment were measured (black globe temperature, dry bulb temperature, relative humidity and air speed) and surveys on thermal sensation were applied, of which 211 observations were obtained, 114 (54.1%) were responses from men and 97 (45.9%) were responses from women, 18 to 30 years of age. Data analysis was carried out with the method Average of Thermal Sensation Interval (ATSI), where the phenomenon of adaptation was observed due to the behavior of the registered thermal sensations and the ranges of thermal comfort (reduced and extensive) estimated through the standard deviations (SD). The reduced and extended comfort range for thermal sensation was 2.7 K and 5.4 K respectively; for the hygric sensation it was 13.2 % and 26.3 % respectively; and for the wind speed it was 2.6 m/s and 4.2 m/s, respectively.

**Keywords:** Adaptive approach, microclimate, outdoor thermal comfort, thermal environment, urban heat island.

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático está generando fenómenos meteorológicos y climáticos extremos en todas las regiones del mundo, provocando impactos adversos. Las comunidades vulnerables que históricamente han contribuido menos al cambio climático actual se ven afectadas de manera desproporcionada (Fassbender *et al.*, 2024; IPCC, 2023). El desarrollo teórico y técnico de la climatología urbana moderna puede vincularse estrechamente con la historia del estudio de la Isla de Calor Urbana (ICU). Tal fenómeno implica un aumento de la temperatura del aire ( $T_a$ ) de las ciudades (aproximadamente  $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  al año) y representa una evidencia del impacto antropogénico en el entorno natural. Los aspectos que se relacionan con el incremento de la ICU incluyen la presencia de superficies urbanas con bajo albedo, el uso de materiales con alta capacidad térmica en los edificios, ventilación inadecuada, captación de radiación de onda larga, contaminación del aire, falta de vegetación y, en consecuencia, reducción de la evaporación en el entorno urbano. Este entorno a menudo se caracteriza por un microclima inaceptable y falta de confort térmico, por lo que se debería dar importancia al microclima urbano en el diseño y planificación de las ciudades (Mills *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2022; Srivani & Jareemit, 2020; Abdi *et al.*, 2020). Elnabawi & Hamza (2020) mencionan que los estudios sobre el confort térmico exterior evidencian la necesidad de analizar interdisciplinariamente los parámetros físicos, fisiológicos, psicológicos y sociales para desarrollar lineamientos que los planificadores y diseñadores urbanos puedan utilizar para la toma de decisiones.

Existe un creciente debate sobre los espacios urbanos que pueden ser perjudiciales para el bienestar humano (Jato *et al.*, 2023), principalmente por la exacerbación del calor atmosférico debido al cambio climático, dejando en claro la relevancia de estudiar estos fenómenos para preservar la salud humana en estas áreas (Migliari *et al.*, 2024). El proceso desigual de urbanización y expansión de las ciudades puede conducir a un medio ambiente, infraestructura y saneamiento insostenibles, afectando la calidad de vida de los habitantes (Barros *et al.*, 2023). En el contexto de entornos urbanos sostenibles, hay un aumento de interés en la provisión de espacios abiertos con mejor calidad ambiental, ya que puede propiciar calidad del aire y mejorar la salud (Kandelán *et al.*, 2022; Jang & Kim, 2021).

ASHRAE (2023) define al confort térmico “como la condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico” y es analizada mediante evaluación subjetiva. Este estándar incluye una serie de factores que deben abordarse al definir las condiciones para un confort térmico aceptable:

- a) tasa metabólica,
- b) aislamiento de ropa y
- c) variables físicas del ambiente.

El confort térmico humano al aire libre depende del efecto combinado de la temperatura del aire, la velocidad del viento, la humedad del aire y la radiación; su evaluación generalmente se realiza mediante mediciones micrometeorológicas o modelado y encuestas sobre percepción y preferencia térmica (Gatto *et al.*, 2021). La interacción entre los seres humanos y el ambiente térmico es un proceso biofísico complejo, por lo que evaluar con precisión los niveles de comodidad humana requiere cuantificar indicadores fisiológicos y encuestar a los individuos para tener en cuenta los numerosos parámetros fisiológicos involucrados (Wang *et al.*, 2023).

En el espacio urbano, las áreas residenciales son las más relevantes para la vida y el ocio de los residentes, al mismo tiempo, son los lugares donde estos están más expuestos a las condiciones ambientales exteriores (Zheng *et al.*, 2024; Zhou *et al.*, 2024). Los efectos nocivos del ambiente térmico urbano se pueden observar principalmente en cañones de calles con edificios de gran altura continuos en ambos lados de la carretera (Schaefer *et al.*, 2021; Bherwani *et al.*, 2020). En los cañones urbanos se identifican parámetros geométricos como la orientación y la relación de ancho y altura ( $H/W$ , por sus siglas en inglés), que influyen en las condiciones ambientales, como la incidencia solar, el flujo del viento, la temperatura superficial y del aire. Una relación de aspecto más alta reduce el acceso solar y la temperatura del aire, lo que genera espacios exteriores más fríos (Abdollahzadeh & Bioria, 2021). Algunos autores señalan que la orientación este-oeste se considera como la de mayor afectación, debido a que se encuentra expuesta a una radiación solar extrema, con el valor más alto de temperatura radiante media ( $T_{mrt}$ , por sus siglas en inglés) (Srivani & Jareemit, 2020; Deng & Wong, 2020).

El presente estudio se desarrolla en el período de transición (frío al cálido) bajo el contexto de un clima mediterráneo. Tiene como objetivo evaluar el confort térmico adaptativo a partir de datos obtenidos a través de encuestas para identificar los votos de sensación y preferencia térmica de los peatones, y la medición de los parámetros ambientales del cañón urbano localizado en la ciudad de Ensenada, B.C., México.

## METODOLOGÍA

La metodología del presente trabajo se compone de los siguientes apartados:

1. Descripción del caso de estudio.
2. Medición y trabajo de campo.
3. Muestra y características de los participantes.
4. Diseño y aplicación del cuestionario.
5. Procesamiento de datos.

#### DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El estudio se desarrolló en un cañón urbano localizado en la ciudad de Ensenada, Baja California, México, que se ubica en las coordenadas 31°52'N, 116°37'W y a una altura de 21 msnm (Figura 1). De acuerdo con la clasificación climática de Köppen-Geiger, Ensenada se caracteriza por un clima mediterráneo frío semiárido (BSks).

El estudio se desarrolló en el área residencial Pedregal Playitas, específicamente en el cañón urbano de la entrada del fraccionamiento sobre la calle Paseo del Pedregal, que se caracteriza por ser una zona climática local número seis (LCZ 6), de acuerdo con la clasificación propuesta por Stewart & Oke (2012), es decir, que cuenta con edificios pequeños de 1 a 3 pisos de altura, unidos en filas, en patrón de cuadrícula y un factor de vista del cielo (SVF, por sus siglas en inglés) en un rango entre 0.6 – 0.9 desde el nivel de la calle ligeramente reducida (6 m de ancho). Los materiales de construcción varían (madera, ladrillo, piedra, teja), presentando superficies con un rango de albedo entre 0.12 – 0.25 y calor antropogénico de  $< 25 \text{ W m}^{-2}$ . En cuanto a la función es de tipo residencial (vivienda individual o de unidades múltiples, terraza de baja densidad/vivienda en hilera) y comercial (pequeñas tiendas minoristas).

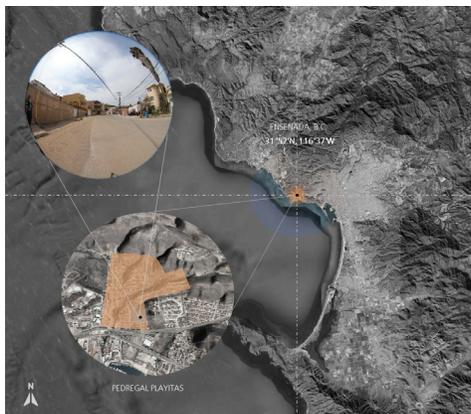


Figura 1. Caso de estudio en fraccionamiento Pedregal Playitas ubicado en la ciudad de Ensenada, B.C., México (Elaboración propia a partir de Google Earth)

#### MEDICIÓN Y TRABAJO DE CAMPO

Se realizó una campaña de monitoreo en sitio para evaluar la percepción térmica de los peatones del cañón urbano, que conforme a lo estipulado en la estratifica-

ción de las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) de México, pertenecen a un grado bajo de rezago social (CONEVAL, 2020). Los datos fueron recolectados en el período térmico de transición (del frío al caliente), durante la primavera del 19 de abril al 2 de mayo del 2023, para este estudio el 23 de abril corresponde al día representativo de las condiciones típicas del mes, con temperatura mínima y máxima de 12.8 °C y 22.0 °C, respectivamente; humedad relativa mínima y máxima de 37 % y 87 %, respectivamente; y radiación solar directa mínima y máxima de 0.0 W/m<sup>2</sup> y 775.0 W/m<sup>2</sup>, respectivamente, según los datos extraídos de un archivo EPW obtenido de la versión 7 del software Meteonorm. Durante este período se recolectaron datos del ambiente térmico y se obtuvo información de la sensación y percepción térmica de los peatones, durante las 09:00 y las 14:00 horas. El horario fue seleccionado para identificar la transición del horario frío al caliente y por la afluencia de peatones.

Las variables físicas del ambiente térmico recolectadas para caracterizar el contexto en el que los participantes contestaban los cuestionarios fueron: Temperatura de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ta), humedad relativa (HR) y velocidad del aire (VV). Para ello se utilizó un registrador de datos de estrés por calor REED SD-2010, un medidor de estrés por calor WBGT Extech HT30, un medidor de temperatura de globo para bulbo húmedo Extech HT30 y un medidor climático Kestrel 5500 (Tabla 1). Tal instrumental fue montado de manera estratégica acorde al ASHRAE 55 (2023), pero con una adaptación con base en la estatura promedio de la población mexicana (Romero, 2021) y así capturar datos de los sensores a 0.1 m (nivel de tobillos), 0.8 m (nivel de abdomen) y 1.6 m (nivel de cabeza) de altura, respondiendo a los principales receptores de temperatura del cuerpo humano (Figura 2). De acuerdo con las especificaciones técnicas de la ISO 7726 (1998) y con base en el período de estabilización promedio, previo a comenzar la sesión de aplicación de encuestas, el equipo utilizado para la medición física de las variables meteorológicas fue encendido 20 minutos antes para estabilizar las mediciones, el equipo se ubicó a 1 m de distancia del participante para minimizar la interferencia a los sensores.

Tabla 1. Rangos de medición del instrumental utilizado

Modelo	Parámetro	Rangos de medición	Resolución	Precisión
REED SD-2010	Temperatura de globo negro (Tg), Temperatura del aire (Ta), Humedad relativa (HR)	Aire: 32 a 122.0 °F (0 a 50.0 °C)	0.1 °C para temperaturas y 0.1 % para HR	± 0.8 °C para Ta, ± 0.6 °C para Tg y ± 3 % para HR
		Bulbo húmedo: - 6.9 a 122.1 °F (- 21.6 a 50 °C)		
		Globo negro: 32 a 176 °F (0 a 80 °C)		
		HR: 5 a 95 %		
WBGHT Exttech HT30	Temperatura de globo negro (Tg), Temperatura del aire (Ta), Humedad relativa (HR)	WBGT al aire libre: 32 a 132 °F (0 a 56 °C)	± 3 °C (5.5 °F) para Tg, ± 1 °C (1.8 °F) para Ta, ± 3 % para HR	0.1 °F/°C y 0.1 % HR
		Aire: 0 °C a 50 °C (32 °F a 122 °F)		
		Bulbo húmedo: 0 °C a 50 °C (32 °F a 122 °F)		
		Globo negro: - 30 °C a 550 °C (- 22 °F a 1022 °F)		
Kestrel 5500	Velocidad del viento (VV)	HR: 0 a 100 %	0.1 m/s	700-1100 hPa
		Aire: - 45 °C a 125 °C		
		HR: 0 a 100 %		
		Presión Barométrica: 0.3 a 32.5 inHg, 10 a 1100 hPa / mb, 0.15 a 16 PSI		

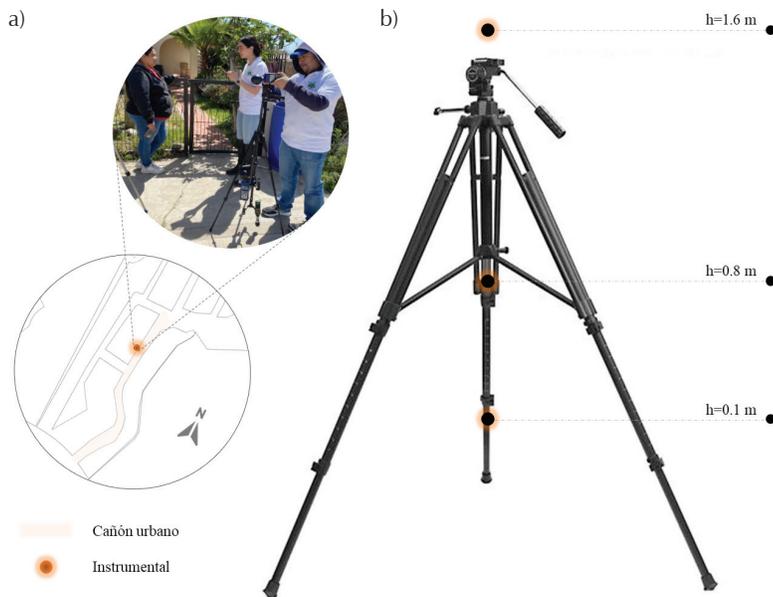


Figura 2. a) Localización del cañón urbano donde se fijó el instrumental, b) Alturas donde se encuentran los instrumentos de medición para monitorear las variables físicas durante los levantamientos

MUESTRA Y CARACTERÍSTICAS DE LOS PARTICIPANTES

La muestra de la población se diseñó considerando un nivel de confianza de 90 % y un 5 % de intervalo de confianza. Se estimó una muestra de 208 sujetos para el periodo de estudio y se encuestaron a un total de 211 participantes con actividad moderada (caminata) durante el período de aplicación de la encuesta, de los cua-

les 114 (54.1 %) fueron hombres y 97 (45.9 %) fueron mujeres. La mayoría fueron personas entre los 18 a los 30 años (76.3 %). Los hombres contaron con una estatura promedio de 1.7 m y las mujeres con una estatura promedio de 1.6 m. El arropamiento de los participantes se clasificó como muy ligera, ligera, normal, abrigada y muy abrigada, utilizando el clo como unidad de medida.

## DISEÑO Y APLICACIÓN DEL CUESTIONARIO

El cuestionario se diseñó de acuerdo con referentes especializados en el tema, que fundamentaron su información en estándares nacionales e internacionales (Rincón, 2023; Xu *et al.*, 2018; Nikolopoulou *et al.*, 2011). Como se muestra en la Tabla 2, las preguntas que corresponden a la sensación higrotérmica del ambiente se adaptaron de la escala subjetiva de siete puntos que se muestra en las normas ANSI/ASHRAE 55 (ASHRAE, 2023) e ISO 10551 (ISO, 1995). Los datos registrados en el cuestionario incluyeron información sobre las características fisiológicas de los participantes, arropamiento (clo), preferencia y sensación térmica. La versión completa del cuestionario puede ser consultada en el Apéndice I.

Como ya se mencionó en el apartado anterior, los cuestionarios fueron aplicados a peatones dentro del cañón urbano de la calle Paseo del Pedregal, donde se siguió el proceso de trabajo de campo del estudio de Rincón (2023):

1. Primero se realizó la estabilización del equipo de medición física, encendiendo el equipo 20 min antes de cada sesión.
2. Posterior se seleccionó de manera aleatoria a los peatones a evaluar durante el transcurso de las 09:00 hasta las 14:00 horas.
3. Para iniciar la evaluación se distribuyó el equipo de medición física en área de estudio.
4. Fueron aplicados los cuestionarios para que los sujetos de estudio respondieran (2 minutos aproximadamente), mientras de manera simultánea el soporte técnico registró las mediciones de las variables físicas del ambiente térmico.
5. Por último, al finalizar el levantamiento, los equipos e instrumentos de medición fueron recolectados de manera ordenada para garantizar la captura confiable de datos (Figura 3).

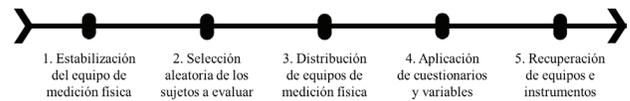


Figura 3. Procedimiento sistemático con el que se aplicaron las encuestas en campo

## PROCESAMIENTO DE DATOS

Mediante el Método de Medias por Intervalos de Sensación Térmica (MIST) desarrollado por Gómez *et al.* (2007), se realizó el análisis de correlación de datos. Este utiliza como método estadístico a la Desviación Estándar (DS) para la estimación de un valor de Temperatura neutral ( $T_n$ ) o temperatura de confort y dos rangos de confort térmico (un rango extendido aplicando  $\pm 2$  DS y un rango reducido aplicando  $\pm 1$  DS) que puede no ser equidistante del valor de neutralidad (Figura 4).

Tabla 2. Escala de sensación higrotérmica utilizada en el cuestionario

Sensación térmica	Sensación higrica	ANSI/ASHRAE 55	Adaptación de escala
Mucho calor	Muy húmedo	+ 3	7
Calor	Húmedo	+ 2	6
Algo de calor	Ligeramente húmedo	+ 1	5
Neutral	Neutral	0	4
Algo de frío	Ligeramente seco	- 1	3
Frío	Seco	- 2	2
Mucho frío	Muy seco	- 3	1

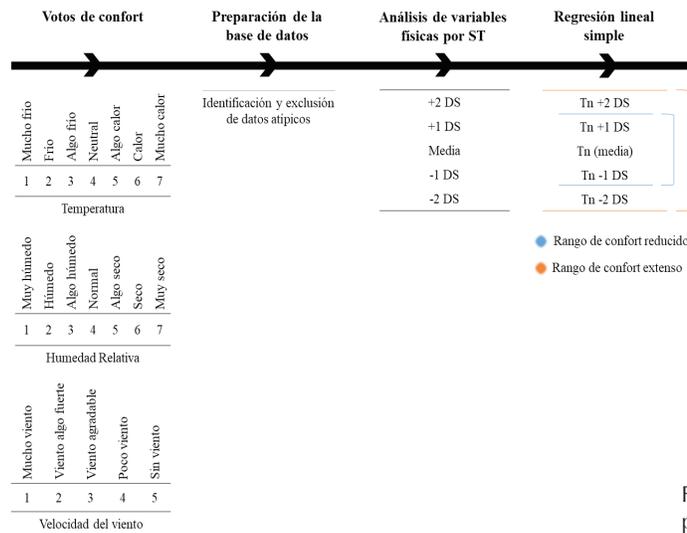


Figura 4. Procesamiento de datos a través del Método de medias por Intervalos de Sensación Térmica (MIST)

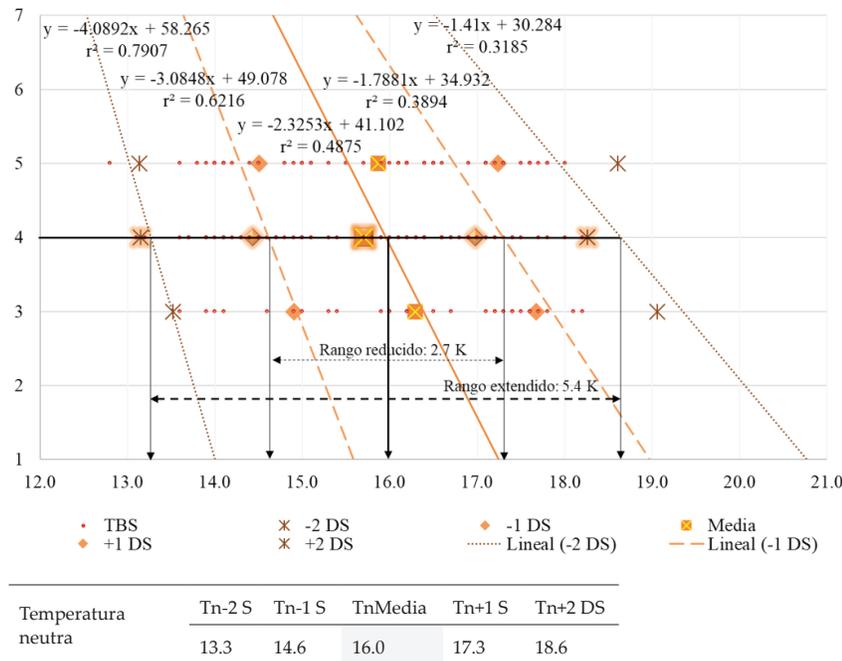


Figura 5. Correlación de la TBS y la sensación térmica con el método MIST

## RESULTADOS

### SENSACIÓN TÉRMICA

La Tn y los rangos de confort térmico, se analizaron para el total de las observaciones. La sensación térmica por TBS en el periodo de transición para el total de observaciones, presentó como categorías atípicas la sensación térmica de “Mucho calor”, “Calor”, “Frío” y “Mucho frío”, debido a las temperaturas del periodo de evaluación y razón por la que fueron apartadas del pro-

cesamiento de datos. Las líneas de regresión para  $\pm 1DS$  y  $\pm 2DS$  fueron convergentes con la regresión de TnMedia en las categorías cálidas. De acuerdo con el MIST, lo anterior representa que a un aumento de la temperatura hay mayor nivel de adaptación térmica y una menor adaptación conforme la temperatura disminuye. La Tn para el total de observaciones fue de 16.0 °C, con un rango reducido de confort (Tn-1 DS a Tn + 1 DS) de 14.6 °C a 17.3 °C y un rango extenso de confort (Tn-2 DS a Tn + 2 DS) de 13.3 °C a 18.6 °C; y amplitudes térmicas asimétricas de 2.7 K y 5.4 K, respectivamente (Figura 5).

Para la correlación de los pares de datos se realizó el cálculo del coeficiente de determinación ( $r^2$ ). Para la  $T_n$  dio como resultado  $r^2= 0.4875$ ; una  $r^2= 0.6216$  y una  $r^2= 0.3894$  para los límites reducidos del rango de confort; y, una  $r^2= 0.7907$  y una  $r^2= 0.3185$  para los límites del rango extenso de confort. El modelo matemático para estimar el confort térmico es:  $y = -2.3253x + 41.102$  para la  $T_n$ ;  $y = -3.0848x + 49.078$  y  $y = -1.7881x + 34.932$  para los límites inferior y superior del rango reducido de confort, respectivamente; y,  $y = -4.0892x + 58.265$  y  $y = -1.41x + 30.284$  para los límites inferior y superior del rango extenso de confort, respectivamente.

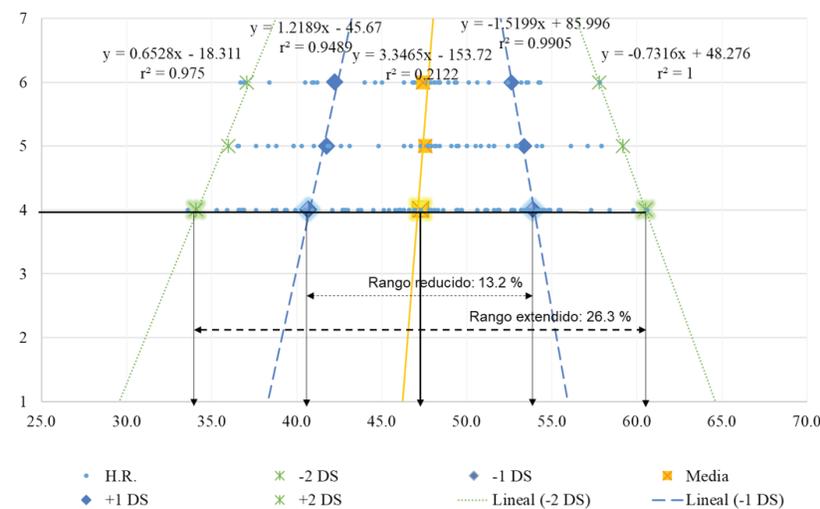
SENSACIÓN HÍGRICA

La sensación higríca en el periodo de transición para el total de observaciones presentó como categorías atípicas la sensación de “Muy húmedo”, “Muy seco”, “Seco” y “Algo seco”, debido a la HR del período de evaluación, razón por la que fueron apartadas del procesamiento de datos. Del total de observaciones se identifica que en el caso de  $\pm 1DS$  y  $\pm 2DS$  la regresión es visualmente convergente respecto a la línea de regresión de  $HR_n$ Media. Lo anterior de acuerdo con MIST, relaciona que a una disminución de la HR se da un mayor nivel de adaptación y que a un aumento de la HR se observa menor adaptación. La  $HR_n$  media para el total de observaciones fue de 45.9 %, con un rango reducido de confort ( $HR_n - 1 DS$  a  $HR_n + 1 DS$ ) de 40.7 % a 53.9 % y un rango extenso de confort ( $HR_n - 2 DS$  a  $HR_n + 2 DS$ ) de 34.2 % a 60.5 %; y amplitudes higrícas asimétricas de 13.2 % y 26.3 %, respectivamente (Figura 6).

Respecto a la correlación de los datos se observa que para la  $HR_n$  un resultado  $r^2= 0.2122$ ; una  $r^2= 0.9489$  y una  $r^2= 0.9905$  para los límites del rango reducido de confort; y, una  $r^2= 0.975$  y una  $r^2 = 1$  para los límites del rango extenso de confort. Los modelos matemáticos obtenidos para estimar el confort higríco, son:  $y = 3.3465x - 153.72$  para la  $T_n$ ;  $y = 1.2189x - 45.67$  y  $y = -1.5199x + 85.996$  para los límites inferior y superior del rango reducido de confort, respectivamente; y,  $y = 0.6528x - 18.311$  y  $y = -0.7316x + 48.276$  para los límites inferior y superior del rango extenso de confort, respectivamente.

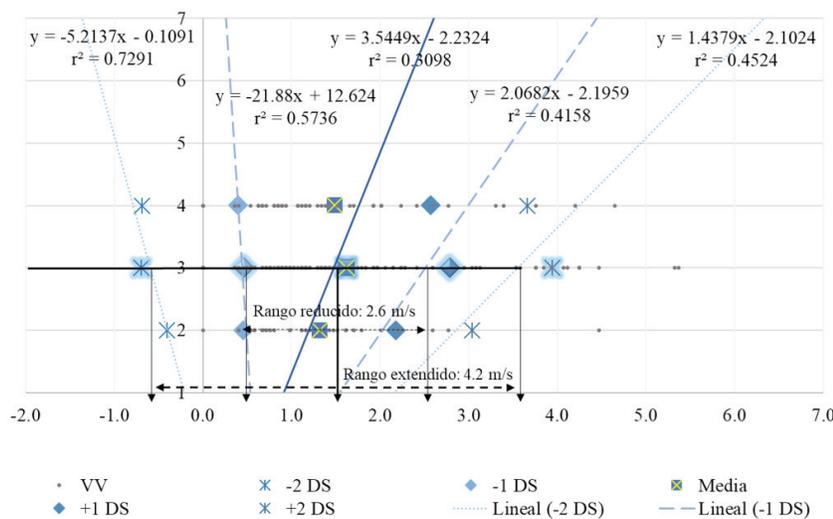
SENSACIÓN EÓLICA

La velocidad del viento (VV) en el periodo de transición, para el total de observaciones presentó como categorías atípicas la sensación eólica de “Mucho viento” y “Sin viento”, debido a las condiciones del período de evaluación por lo que los datos fueron descartados. En cuanto a las líneas de regresión se observa que al aumentar la velocidad del viento se presenta un mayor nivel de adaptación y al disminuir la velocidad del aire se observa menor adaptación. La velocidad del viento neutral ( $VV_n$ ) media para el total de observaciones fue de 0.6 m/s, con un rango reducido de confort ( $VV_n-1 DS$  a  $VV_n+1 DS$ ) de 0.4 m/s a 3.0 m/s y un rango extenso de confort ( $VV_n-2 DS$  a  $VV_n+2 DS$ ) de 0.0 m/s a 4.2 m/s; y amplitudes asimétricas de 2.6 m/s y 4.2 m/s, respectivamente (Figura 7).



Humedad relativa neutra	HRn-2 S	HRn-1 S	HRnMedia	HRn+1 S	HR+2 S
	34.2	40.7	47.1	53.9	60.5

Figura 6. Correlación de la HR y la sensación higríca con el método MIST



Velocidad del viento neutral	VVn-2 S	VVn-1 S	VVnMedia	VVn+1 S	VVn+2 S
	0.0	0.4	1.8	3.0	4.2

Figura 7. Correlación de la VV y la sensación eólica con el método MIST

Para la VVn se identificó una  $r^2=0.3898$ ; una  $r^2=0.5736$  y una  $r^2=0.4158$  para los límites del rango reducido de confort; y, una  $r^2=0.7291$  y una  $r^2=0.4524$  para los límites del rango extenso de confort. El modelo matemático para estimar el confort térmico fue de:  $y=3.5449x - 2.2324$  para la VVn;  $y=-21.88x + 12.624$  y  $y=2.0682x - 2.1959$  para los límites inferior y superior del rango reducido de confort, respectivamente; y,  $y=-5.2137x - 0.1091$  y  $y=1.4379x - 2.1024$  para los límites inferior y superior del rango extenso de confort, respectivamente.

### DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Actualmente, han ganado popularidad los estudios asociados a climas mediterráneos (Barros *et al.*, 2023; Rouhollahi *et al.*, 2022; Buccolieri *et al.*, 2020), el cual presenta ciertas condiciones concretas a nivel microclimático. El ambiente térmico de las áreas urbanas se ve afectado por la asignación espacial de los elementos del paisaje en el microclima, siendo las formas geométricas de los edificios urbanos, la cubierta vegetal y los materiales de la superficie los elementos más influyentes. Las variables que afectan el ambiente térmico son las mismas que controlan el efecto de la ICU, por tanto, el entorno urbano es de gran importancia para la planificación del desarrollo urbano y la construcción sincrónica de un entorno ecológico adecuado para un futuro de rápida expansión urbana y cambio climático (Fang *et al.*, 2024). El estudio sirve como apoyo para proponer estrategias de planeación urbana y adecuación ambiental abordando factores de confort térmico para espacios públicos exteriores en un contexto mediterráneo.

En el estudio se observa el proceso de adaptación a las condiciones microclimáticas a partir de las regresiones de las líneas de tendencia analizadas en los gráficos durante el procesamiento de datos. Además, durante el periodo de transición térmica (primavera) se identificó un comportamiento convergente con las sensaciones de TBS, HR y un comportamiento divergente con la sensación eólica. Otras investigaciones (Núñez *et al.*, 2024) mencionan que si predominan condiciones higrotérmicas elevadas, el rango de confort esperado sigue su tendencia; lo que también ocurre en sitios donde predomina el bajo calentamiento que propicia una tendencia a bajas temperaturas. Sin embargo, en los resultados de esta investigación en periodo de transición se presenta mayor adaptabilidad a mayores temperaturas que a bajas. En la correlación de los votos de confort y la sensación térmica por TBS, se presentó un comportamiento convergente en las líneas de regresión hacia las sensaciones cálidas.

En la correlación entre los votos de confort y la sensación higríca, las líneas de regresión de los límites de los rangos reducido y extendido, muestran un comportamiento convergente hacia la línea de regresión de HRn media, al acercarse a las sensaciones húmedas.

El confort por velocidad de viento durante las mañanas fue similar a las respuestas que se emitieron en el horario de la tarde, lo que se asocia a una conducta de adaptación en la que los peatones ajustaron su nivel de arropamiento al reducir la cantidad de vestimenta para lograr las condiciones de confort térmico, según la evidencia fotográfica levantada durante el trabajo de campo y las diversas fuentes consultadas e

insertadas en la introducción de este documento. Cabe mencionar que los encuestados estaban sometidos a una actividad física moderada (caminata) como peatón del cañón urbano.

Las sensaciones de las personas al aire libre se ven afectadas no solo por los parámetros microclimáticos físicos relacionados, sino también por su experiencia y expectativa en las diferentes estaciones, lo que proporciona la evidencia de la adaptación en el medio exterior y el historial térmico. Es importante retomar el estudio en períodos de transición (de frío a calor ó de calor a frío), ya que permitirá identificar los procesos de adaptación para mejorar las condiciones de confort térmico al exterior, ya que en condiciones extremas, por ejemplo, en la temporada de verano, las personas pudieran describir su sensación térmica como «Calor» ó «Mucho calor», mientras que en invierno lo pudieran hacer como «Frío» ó «Muy frío». Según Xu *et al.* (2018), hay que considerar que las percepciones humanas del ambiente térmico no solo se ven afectadas por factores cli-

máticos, sino también por factores psicológicos. Las experiencias a largo y corto plazo tienen un impacto, además, el sentido del paisaje visual en las distintas estaciones del año, afecta la percepción de las personas para tolerar el ambiente térmico en diferentes espacios. Asimismo, en un fraccionamiento como Pedregal Playitas es necesario intervenir en el entorno urbano para mejorar el confort térmico y la habitabilidad urbana, ya que cuenta con alto nivel de actividad peatonal por parte de estudiantes que asisten a la Universidad y centros de investigación cercanos, así como de los colonos que residen en el área circundante.

#### LIMITACIONES DEL ESTUDIO

El estudio se realizó durante el período de transición de primavera. Sería recomendable extender el estudio al período calido, de transición (cálido a frío) y frío en donde se presenten las condiciones climáticas extremas y la contra parte del actual período analizado.

### APÉNDICE I

#### CUESTIONARIO UTILIZADO

**PERCEPCIÓN Y CONFORT TÉRMICO AMBIENTAL**

**I - DATOS GENERALES DEL USUARIO**

Sexo: H ( ) M ( ) Edad: \_\_\_\_\_ Altura: \_\_\_\_\_ Peso: \_\_\_\_\_ Acom. ( ) No acom. ( )

**1.1. ¿Cuánto tiempo llevas viviendo en Ensenada?**  
<6 meses ( ) >6 meses ( )

**1.2. ¿Qué tipo de vestimenta porta en este momento:**



a) Muy ligera    b) Ligera    c) Normal    d) Abrigada    e) Muy abrigada

**Marque o subraye la respuesta**

**1.3. Antes de llegar a este lugar, ¿Cómo te encontrabas?**  
a) Sentado    b) Caminando    c) Realizando actividad física (moderada-alta intensidad)

**1.4. ¿Cuánto tiempo has estado realizando esta actividad?**  
a) < 5 min    b) 5 a 10 min    c) 10 a 15 min    d) 15 a 20 min    e) 20 a 30 min    f) >30 minutos

**1.6. En este momento, te encuentras en un sitio:**  
a) Sombreado    b) Bajo el sol

**II- PERCEPCIÓN Y SENSACIÓN TÉRMICA**

**2.1. En este momento, con respecto a la temperatura del aire, ¿Qué sientes?**  
a) Mucho frío    b) Frío    c) Algo de frío    d) Ni frío ni calor (neutro)    e) Algo de calor  
f) Calor    g) Mucho calor

**2.2. En cuanto a la temperatura del aire, ¿Cómo preferirías que fuera?**  
a) Mucho más fresco    b) Más fresco    c) Sin cambio    d) Un poco más de calor  
e) Más calor    d) Mucho más calor

**2.3. En este momento, con respecto a la humedad del aire, ¿Qué sientes?**  
a) Muy húmedo    b) Húmedo    c) Algo húmedo    d) Normal    e) Algo seco  
f) Seco    g) Muy seco

**2.4. En cuanto a la humedad del aire, ¿Cómo preferirías que fuera?**  
a) Mucho más húmedo    b) Más húmedo    c) Un poco más húmedo    d) Sin cambio  
e) Un poco más seco    f) Más seco    g) Mucho más seco

**2.5. En este momento, con respecto al viento, ¿Qué sientes?**  
a) Mucho viento    b) Viento algo fuerte    c) Viento agradable    d) Poco viento    e) Sin viento

**2.6. En cuanto al viento, ¿Cómo preferirías que fuera?**  
a) Más viento    b) Sin cambio    c) Menos viento

## REFERENCIAS

- Abdi, B., Hami, A., & Zarehaghi, D. (2020). Impact of small-scale tree planting patterns on outdoor cooling and thermal comfort. *Sustainable Cities and Society*, 56(February), 102085. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102085>
- Abdollahzadeh, N., & Biloría, N. (2021). Outdoor thermal comfort: Analyzing the impact of urban configurations on the thermal performance of street canyons in the humid subtropical climate of Sydney. *Frontiers of Architectural Research*, 10(2), 394-409. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2020.11.006>
- ANSI/ASHRAE. (2023). ANSI/ASHRAE Standard 55-2023 : Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. *ASHRAE Inc.*, 66. <https://doi.org/ISSN 1041-2336>
- Barros-Moreira de Carvalho, G., & Bueno-da Silva, L. (2023). The microclimate implications of urban form applying computer simulation: systematic literature review. *Environment, Development and Sustainability*, (2023). <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03737-5>
- Bherwani, H., Singh, A., & Kumar, R. (2020). Assessment methods of urban microclimate and its parameters: A critical review to take the research from lab to land. *Urban Climate*, 34(May), 100690. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100690>
- Buccolieri, R., Gatto, E., Manisco, M., Ippolito, F., Santiago, J. L., & Gao, Z. (2020). Characterization of urban greening in a District of Lecce (Southern Italy) for the analysis of CO<sub>2</sub> storage and air pollutant dispersion. *Atmosphere*, 11(9), 1-20. <https://doi.org/10.3390/ATMOS11090967>
- Deng, J., & Wong, N. H. (2020). Impact of urban canyon geometries on outdoor thermal comfort in central business districts. *Sustainable Cities and Society*, 101966. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101966>
- Elnabawi, M. H., & Hamza, N. (2020). Behavioural perspectives of outdoor thermal comfort in urban areas: A critical review. *Atmosphere*, 11(1), 1-23. <https://doi.org/10.3390/atmos11010051>
- Fang, Z., Zhang, F., Guo, Z., Zheng, Z., & Feng, X. (2024). Investigation into the outdoor thermal comfort on different urban underlying surfaces. *Urban Climate*, 55(April), 101911. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101911>
- Fassbender, E., Rott, J., & Hemmerle, C. (2024). Impacts of photovoltaic façades on the urban thermal microclimate and outdoor thermal comfort: Simulation-based analysis. *Buildings*, 14(4), 923. <https://doi.org/10.3390/buildings14040923>
- Gatto, E., Ippolito, F., Rispoli, G., Carlo, O. S., Santiago, J. L., Aarrevaara, E., Rohinton, E., & Buccolieri, R. (2021). Analysis of urban greening scenarios for improving outdoor thermal comfort in neighbourhoods of lecce (Southern Italy). *Climate*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/cli9070116>
- Gómez, G., Morales, G. B., & Torres, R. P. R. (2007). El confort térmico: Dos enfoques teóricos enfrentados. *Palapa*, 2(1), 45-57. Retrieved from <http://revistasacademicas.ucol.mx/index.php/palapa/article/view/43>
- IPCC. (2023). Summary for policymakers: Synthesis report. climate change 2023: synthesis report. contribution of working groups I, II and III to the sixth assessment report of the inter-governmental panel on climate change, 1-34.
- ISO. (1995). Ergonomía del ambiente térmico, evaluación de la influencia del ambiente térmico utilizando escalas de juicio subjetivo.
- ISO7726, I. (1998). Ergonomics of the thermal environment-instruments for measuring physical quantities ergonomie.
- Jang, G., & Kim, S. (2021). Are decline-oriented strategies thermally sustainable in shrinking cities? *Urban Climate*, 39(June), 100924. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100924>
- Jato, D., Capra, F., Moscardó, V., Bartolomé del Pino, L. E., Mayor, F., Gallardo, L. O., ... & Dietrich, K. (2023). A systematic review on the ecosystem services provided by green infrastructure. *Urban Forestry and Urban Greening*, 86(June). <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127998>
- Kandelan, S. N., Yeganeh, M., Peyman, S., Panchabikesan, K., & Eicker, U. (2022). Environmental study on greenery planning scenarios to improve the air quality in urban canyons. *Sustainable Cities and Society*, 83(March), 103993. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103993>
- Migliari, M., Briche, E., Despax, J., Chesne, L., & Baverel, O. (2024). A cross-analysis matrix comparing multi-site local climate zone trends: application to identify sustainable built morphologies improving summer daytime urban microclimate. *Sustainable Futures*, 7(December 2023), 100162. <https://doi.org/10.1016/j.sfr.2024.100162>
- Mills, G., Stewart, I. D., & Niyogi, D. (2022). The origins of modern urban climate science: reflections on 'A numerical model of the urban heat island.' *Progress in Physical Geography*, 46(4), 649-656. <https://doi.org/10.1177/03091333221107212>
- Nikolopoulou, M., Kleissl, J., Linden, P. F., & Lykoudis, S. (2011). Pedestrians' perception of environmental stimuli through field surveys: Focus on particulate pollution. *Science of the Total Environment*, 409(13), 2493-2502. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.02.002>
- Núñez-de Anda, A., Rincón-Martínez, J. C., Bojórquez-Morales, G., & Llamas-Estrada, A. (2024). Confort higrotérmico en espacios públicos abiertos de clima mediterráneo en periodo de transición térmica. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 25(01), 1-12. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2024.25.1.005>
- Rincón, J. C. (2023). Basic methods used for data analysis in adaptive thermal comfort studies. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 24(1), 1-17. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2023.24.1.002>
- Romero, L. (2021). *La estatura, otro indicador de un país contrastante*. 1-5.
- Rouhollahi, M., Whaley, D., Behrend, M., Byrne, J., & Boland, J. (2022). The role of residential tree arrangement: a scoping review of energy efficiency in temperate to subtropical climate zones. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158(January), 112155. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112155>
- Schaefer, M., Ebrahimi, H., Köckler, H., & Thinh, N. X. (2021). Assessing local heat stress and air quality with the use of remote

- sensing and pedestrian perception in urban microclimate simulations. *Science of the Total Environment*, 794. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148709>
- Srivanit, M., & Jareemit, D. (2020). Modeling the influences of layouts of residential townhouses and tree-planting patterns on outdoor thermal comfort in Bangkok suburb. *Journal of Building Engineering*, 30, 101262. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101262>
- Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879-1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- Wang, X., Chen, Z., Ma, D., Zhou, T., Chen, J., & Jiang, X. (2023). Relationship between visual and thermal comfort and electrodermal activity in campus blue-green spaces: A case study of Guangzhou, China. *Sustainability (Switzerland)*, 15(15). <https://doi.org/10.3390/su151511742>
- Xu, M., Hong, B., Mi, J., & Yan, S. (2018). Outdoor thermal comfort in an urban park during winter in cold regions of China. *Sustainable Cities and Society*, 43(August), 208-220. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.08.034>
- Zhang, H., Han, J. J., Zhou, R., Zhao, A. L., Zhao, X., & Kang, M. Y. (2022). Quantifying the relationship between land parcel design attributes and intra-urban surface heat island effect via the estimated sensible heat flux. *Urban Climate*, 41(July 2021), 101030. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101030>
- Zheng, J., Li, Z., & Zheng, B. (2024). A study on the effect of Green Plot Ratio (GPR) on urban heat island intensity and outdoor thermal comfort in residential areas. *Forests*, 15(3), 1-23. <https://doi.org/10.3390/f15030518>
- Zhou, H., Yu, W., Zhao, K., Shan, H., Zhou, S., Zhang, Y., ... Wei, S. (2024). Adaptive thermal comfort analysis in the elderly based on Fried frailty classification in residential buildings during summer. *Building and Environment*, 252(October 2023), 111262. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111262>
- Cómo citar:**  
Arriaga-Osuna, M. F., Rincón-Martínez, J. C., & Martínez-Torres, K. E. (2024). Confort térmico adaptativo en cañón urbano: El caso de un clima mediterráneo. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 25 (03), 1-11. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2024.25.3.019>