



Estimación del confort térmico por variable física del entorno térmico: Un estudio en los espacios abiertos de la UABC-Sauzal, México

Estimation of thermal comfort by physical variable of the thermal environment: A study in open spaces at UABC-Sauzal, Mexico

López-Cañedo Jessica Yukie , Rincón-Martínez Julio César , Fernández-Melchor Francisco 

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California, Carretera Transpeninsular Ensenada-Tijuana No. 3917, Zona Playitas, CP. 22860 Ensenada, Baja California, México.

Autor por correspondencia: Francisco Fernández Melchor, Universidad Autónoma de Baja California, Carretera Transpeninsular Ensenada-Tijuana No. 3917, Zona Playitas, CP. 22860 Ensenada, Baja California, México. E-mail: francisco.fernandez.melchor@uabc.edu.mx, ORCID: 0000-0003-1669-7327.

Recibido: 10 de Diciembre del 2020

Aceptado: 2 de Mayo del 2021

Publicado: 6 de Mayo del 2021

Resumen. – *El confort térmico en espacios exteriores es una de las características esenciales de la calidad del medio ambiente urbano; además, puede influir significativamente en el desempeño, el bienestar, el confort y la sensación térmica de las personas. Por ello, en el diseño de los espacios exteriores se deben considerar los índices térmicos de confortabilidad como respuesta a las condiciones climatológicas del entorno en aras de promover su uso frecuente y saludable. El objetivo de esta investigación fue estimar, a partir del enfoque adaptativo, los rangos de confort térmico para espacios públicos exteriores a partir de cada una de las variables físicas del entorno térmico. El estudio se desarrolló en la ciudad de Ensenada durante el periodo cálido. La aplicación de evaluaciones, el diseño del cuestionario y el empleo de instrumentos de medición física, se realizaron a partir de la ANSI/ASHRAE 55, ISO 10551 e ISO 7726. La estimación se realizó con la correlación de las variables físicas registradas y la sensación térmica percibida a partir de dos métodos estadísticos univariados: Medias por Intervalos de Sensación Térmica y Regresión Lineal Simple. Los rangos de confort para la temperatura fueron de 19,2 a 25,1 °C y de 20,1 a 23,8 °C; para la humedad relativa, de 54,3 a 83,6 % y de 0,01 a 99,9 %; y, para la velocidad de viento, de 0,1 a 2,6 m/s y de 0,1 a 5,9 m/s, respectivamente. La estimación obtenida con el primer método de análisis ofreció mayor consistencia respecto a las condiciones reales de evaluación.*

Palabras clave: Confort térmico; correlación de datos; espacios exteriores; sensación térmica; variables físicas del ambiente.

Abstract. – *Thermal comfort in outdoor spaces is an essential characteristic for the urban environment quality; in addition, it can significantly influence the performance, well-being, comfort and thermal sensation of people. Therefore, the design of outdoor spaces must consider*

the thermal comfort ranges in response to the environment conditions in order to promote their frequent and healthy use. The main objective of this work was to estimate the thermal comfort ranges for outdoor public spaces from the adaptive approach and each of the physical variables of the thermal environment. The study was carried out in Ensenada city during the warm period. The evaluations, questionnaire and physical measurement instruments attended what is suggested in the ANSI/ASHRAE 55, ISO 10551 and ISO 7726. The analysis was carried out with the correlation of the registered physical variables and the perceived thermal sensation from two univariate statistical methods: Averages by Thermal Sensation Intervals and Simple Linear Regression. The comfort ranges for the temperature were 19,2 to 25,1 °C and 20,1 to 23,8 °C; for relative humidity were 54,3 to 83,6 % and from 0,01 to 99,9 %; and, for wind speed were 0,1 to 2,6 m/s and 0,1 to 5,9 m/s, respectively. The values obtained with the first analysis method showed greater consistency with respect to the real evaluation conditions.

Keywords: Data analysis; thermal comfort; thermal sensation; outdoor spaces; physical variables of the environment.

1. Introducción

El confort térmico en espacios exteriores tales como plazas, parques, explanadas, malecones, etc., es uno de los factores que influyen en el adecuado desarrollo de actividades, por lo que el conocer sus condiciones de confort térmico establece las bases para una correcta toma de decisiones en el diseño arquitectónico de los espacios exteriores.

El proyecto Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces (RUROS) [1], [2] demostró a nivel internacional la importancia que tiene la investigación sobre el confort térmico en exteriores, generando modelos de confort térmico en cada uno de los casos de estudio con aportes en proyectos de tipo turístico, recreativo y áreas de exposiciones al aire libre [3].

Los estudios del confort térmico en espacios exteriores pueden tener repercusiones importantes en las disciplinas que dan forma al entorno urbano, debido a que cantidad e intensidad de las actividades realizadas en espacios abiertos se ve afectada por el nivel de incomodidad experimentado por los usuarios cuando se exponen a las condiciones climatológicas del exterior [4].

El confort térmico, en la norma ISO 7730 se define como «(...) esa condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico» [5], la ANSI/ASHRAE 55 agrega que la satisfacción con el ambiente térmico es determinada por evaluaciones subjetivas [6].

La sensación térmica está influenciada de manera prioritaria por los siguientes factores ambientales, según la norma ya citada [5], [6]: la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad del viento y la radiación solar; sin embargo, algunos otros factores con menor influencia en la percepción térmica, pero igualmente considerados en el estudio de este fenómeno, son: las características del cuerpo humano (el género, la edad, la vestimenta, la cantidad y tipo de alimentos ingeridos por el individuo), el estado físico y emocional, los hábitos, las preferencias personales y las condiciones naturales y/o construidas del entorno, en términos generales [7], [8], [9], [10].

Para los estudios del confort térmico son utilizados dos enfoques:

- Enfoque de predicción: Se trabajan datos de laboratorio, con condiciones de pruebas controladas. El individuo se

estudia aislado de su hábitat y se toman en cuenta las reacciones fisiológicas (aclimatación) voluntarias e involuntarias para alcanzar el confort térmico. Se considera al humano como receptor pasivo en espera del balance energético. Enfoque de adaptación: Se trabajan datos de campo, las condiciones de prueba tienen variación continua y el individuo se estudia en su hábitat. Se toman en cuenta reacciones fisiológicas (aclimatación) y psicológicas (expectativa, experiencia, conducta). Se considera al humano como receptor activo en busca del confort térmico [11], [12], [13].

A lo largo del tiempo se han desarrollado índices térmicos para determinar el confort, sin embargo, estos han sido basados con un enfoque de intercambio de calor los cuales se han clasificado en índices empíricos como lo son el índice de malestar [14], índice de temperatura-humedad [15], índice de sensación térmica [16] e índices racionales basados en el balance energético humano [17], [18], [19], [20]. Cabe mencionar que ninguno de los índices mencionados toma en cuenta las variables psicológicas que influyen en la percepción térmica [21], [22].

Las condiciones climatológicas de una localidad condicionan la forma de vida de sus habitantes, tanto en espacios interiores como en exteriores [4], ya que las condiciones de confort térmico en espacios interiores, que de alguna manera pueden ser controladas, se han realizado más estudios al respecto (ej. [23], [24], [25], [26]).

En el diseño de los espacios exteriores, al igual que en los interiores, debe haber parámetros de confort térmico, sobre todo porque en estos espacios el sujeto se encuentra expuesto completamente a las

condiciones climatológicas, por esta razón, es que existen múltiples investigaciones en torno al confort térmico en exteriores a nivel internacional (ej. [27], [28], [29], [30]), así como a nivel nacional (ej. [3], [4], [31], [32]), es importante mencionar que algunas investigaciones se enfocan en casos particulares, como por ejemplo, determinar el impacto de la vegetación (ej. [33], [34], [35]) y geometría urbana (ej. [36], [37], [38]) en el confort térmico en exteriores

En Ensenada, el número de estudios sobre el confort térmico se encuentra limitado a investigaciones en espacios interiores [39]. Con base en lo anterior, el objetivo principal de esta investigación fue estimar rangos de confort térmico para espacios exteriores en la ciudad de Ensenada, Baja California, durante el periodo cálido. La investigación se desarrolló desde un enfoque adaptativo, a partir de la aplicación de cuestionarios y la medición simultánea de las variables físicas del entorno, tales como la temperatura de globo negro, la temperatura de bulbo seco, la humedad relativa y la velocidad del viento, que influyen en la sensación térmica de las personas.

2. Métodos y herramientas

El procedimiento metodológico que se llevó a cabo en esta investigación permitió recabar, registrar y procesar los datos requeridos para el estudio. La metodología se dividió en los siguientes apartados:

2.1. Caso y periodo de estudio

El estudio se realizó en la ciudad de Ensenada, Baja California, México. El polígono de referencia fue la unidad Sauzal de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), ya que sus instalaciones cuentan con diversas áreas exteriores que, además de permitir la conectividad entre los edificios, proporcionan áreas de convivencia, descanso,

estudio y recreación. Estos espacios cumplen con características de uso público que no son exclusivos de una institución educativa, tales como: explanadas, malecón, plazas sociales, y circulaciones peatonales, entre otros.

Cabe mencionar que las características generales de los espacios exteriores en los que se llevaron a cabo las evaluaciones, se encuentran en las siguientes: equilibrio entre áreas naturadas y superficies pavimentadas; topografía prácticamente plana; sombreado predominantemente natural a partir de árboles; elementos paisajísticos; amplitud espacial que favorece la iluminación y ventilación abundantes (por su proximidad con el mar); condiciones de humidificación permanentes derivadas de la brisa marina que baña a la ciudad; mobiliario urbano para actividades sedentarias; altura promedio de edificios aledaños de dos niveles; senderos de materiales pétreos, y, en algunos casos, elementos artificiales de sombreado (pergolados, malla sombra, etc.) (Figura 1).

El clima en esta ciudad se clasifica en seco extremoso (BS0 ks(e)) [40] y su bioclima se agrupa en templado-seco [41].

Las condiciones climáticas anuales son representadas por una temperatura media de 17,3 °C, una humedad relativa media de 75,8 %, una precipitación pluvial total de 217,3 mm y una velocidad media de viento de 2,5 m/s, cuya incidencia dominante es del rango suroeste-noroeste [42].

El estudio se llevó a cabo durante el periodo cálido [43], del 03 septiembre al 10 de octubre de 2019, caracterizado por temperaturas y humedad relativa, máximas y mínimas promedio, de 24,9 °C y 17,3 °C, y, de 92,8 % y 65,3 %, respectivamente, una precipitación pluvial media de 2,3 mm y una velocidad de viento promedio de 2,2 m/s proveniente del suroeste.

Los horarios en los que se realizaron las evaluaciones correspondieron a aquellos en los que dan lugar las condiciones higrotérmicas extremas en un día típico [41], es decir, a las 06 h 00 y a las 15 h 00, haciendo ajustes de acuerdo a la disponibilidad del recurso humano, por lo que los horarios fueron de 08 h 00 a 11 h 00 y de 14 h 00 a 17 h 00, en promedio.



Figura 1. Ejemplo de espacios de estudio en la UABC. Fuente: Captura en sitio.

2.2. Diseño 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 384 evaluaciones, no obstante, dadas las características de organización y aceptación del estudio, fue posible recabar 425 observaciones en el periodo mencionado, por lo que la muestra estudiada superó a la muestra diseñada.

El diseño de la muestra se realizó a partir de la población total de la ciudad de Ensenada (como universo de estudio), pues el objetivo principal de la investigación fue la estimación de rangos que permitieran reflejar una representatividad de la población general.

En este sentido, las características generales que permitieron homogenizar tanto al universo blanco como a la muestra poblacional diseñada, son las siguientes: de preferencia que fueran originarias de la ciudad, de lo contrario, que tuvieran al menos un año de residencia en ésta; que durante el momento de evaluación estuvieran desarrollando una actividad cuya intensidad estuviera entre sedentaria y normal (0,8–1,5 met), así como, un aislamiento térmico por arropamiento de entre ligero y moderado (0,8–1,2 clo); que estuvieran desarrollando algún tipo de actividad cotidiana típica de espacios exteriores (convivencia, descanso, esparcimiento, estudiar, caminar, etc.), entre otros.

Características de mayor particularidad en cada persona como la edad, el género, el historial térmico, el color de piel, la estatura y el peso, por mencionar algunas, fueron despreciables en la muestra levantada con el fin de recolectar una base de datos diversa y con ello lograr indicadores de confortabilidad térmica de mayor alcance para la población blanco, además dados los alcances perseguidos con el estudio, sin que ello signifique que no tienen

influencia en la sensación térmica de los sujetos.

2.3. Variables e instrumentación

Para efectos de establecer una relación entre la sensación térmica (ST) de las personas y los niveles higrotérmicos que se presentaron en los espacios exteriores de evaluación en cada caso, se determinó medir y registrar la lectura de las siguientes variables físicas: la Temperatura de Globo Negro (TGN), la Temperatura de Bulbo Seco (TBS), la Humedad Relativa (HR) y la Velocidad del Viento (VV).

Las variables físicas fueron medidas y registradas con un monitor de ambiente térmico de tres arreglos (mca. 3M, mod. QUESTemp 36-3). Este equipo de monitoreo ambiental cuenta con una resolución de 0,1 °C para la TGN y la TBS, 0,1 % para la HR y 0,1 m/s para la VV, y una precisión de $\pm 0,5$ °C para la TGN y la TBS, $\pm 5,0$ % para la HR y $\pm (4,0$ % lectura + 0,1 m/s) para la VV. La selección, la distribución y la operación de los instrumentos y el equipo de medición estuvieron en función de las variables físicas registradas, y de las especificaciones técnicas que la ISO 7726 [44] y la ANSI/ASHRAE 55 [6] sugieren al respecto, lo que permite clasificar como clase I a la base de datos obtenida durante el estudio [13].

Las alturas adecuadas de los sensores del monitor de estrés térmico, según ANSI/ASHRAE 55 [6], son de acuerdo a la posición del sujeto estudiado: Sentado o de pie. En este caso, por practicidad y seguridad del equipo, la disposición de las alturas de los sensores se fijó de la siguiente manera: 0,10 m, 1,10 m y 1,70 m (Figura 2).

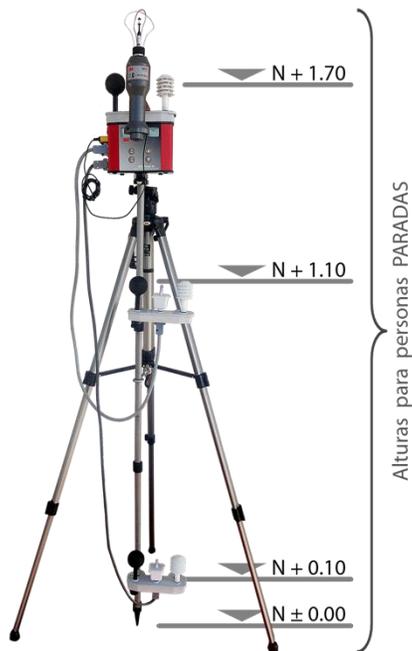


Figura 2. Instrumentos de medición utilizados. Fuente: Rincón [45].

2.4. Diseño del cuestionario

La elaboración del cuestionario se basó en la escala subjetiva de ST de siete puntos contenidas en las normas ISO 10551 [46] y ANSI/ASHRAE 55 [6], la cual fue sugerida en principio por Fanger [17], como se muestra en la Tabla 1. Ya que estas normas fueron diseñadas para espacios interiores, solo se retomaron los conceptos aplicables en el estudio de espacios exteriores.

Tabla 1. Escala de sensación térmica.

Sensación térmica (ST)	Escala [46] [6] [17]	Adaptación
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

Fuente: Elaboración propia con base en Rincón [45].

De la misma manera, fueron analizados cuestionarios diseñados para estudios del confort térmico en espacios exteriores con el enfoque adaptativo (ej. [1], [3], [47]). La estructura final del formato quedó comprendida por seis secciones como se muestra en la Figura 3.

2.5. Metodología para la aplicación de cuestionario

Con el fin de proporcionarle al usuario mayor facilidad al dar respuesta a las preguntas de ST y de Preferencia Térmica (PT), las escalas fueron implementadas a manera de gráficos, dispuestos en la forma de un cubo (Figura 4) en el que cada cara consistía en una escala (representada con emoticones, flechas, colores y textos).

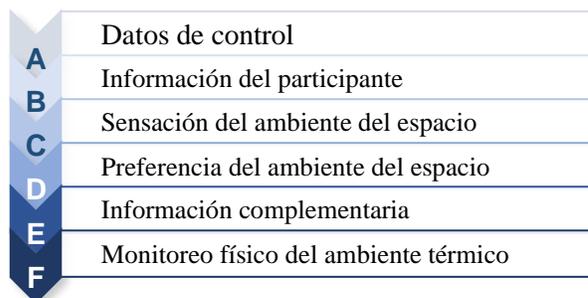


Figura 3. Secciones del cuestionario. Fuente: Elaboración propia.

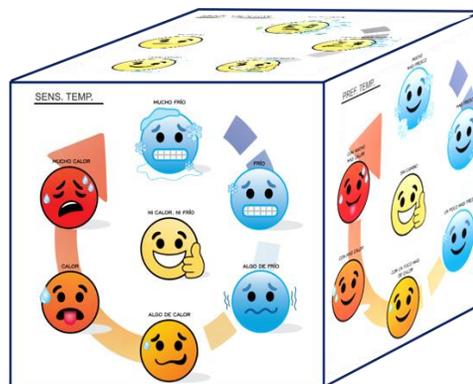


Figura 4. Representación gráfica de la ST y la PT. Fuente: Rincón [45].

Tanto los espacios exteriores en donde se levantaron las evaluaciones, así como los usuarios, fueron seleccionados de manera aleatoria procurando que éstos estuvieran en distintos escenarios para generar una variabilidad en las respuestas.

Para la aplicación de las evaluaciones se conformaron equipos de dos personas, ya que los datos de ST se recabaron simultáneamente con las mediciones de las variables del ambiente térmico, por lo que una persona realizaba las preguntas al usuario, mientras que la otra tomaba lectura del instrumental. Cada evaluación fue llevada a cabo en un promedio de tiempo de dos minutos (Figura 5).

2.6. Conformación y preparación de la base de datos

El programa utilizado para la digitalización y almacenamiento de los datos fue Microsoft Excel®, utilizando una hoja de cálculo convencional, dado a la diversidad de herramientas que ofrece para la captura, el procesamiento y la graficación de datos. Se desarrolló un formato tipo matriz en la cual se presentan los datos por filas y por columnas, en el que cada fila representa las observaciones levantadas (cuestionarios) y las columnas representan las variables recabadas en la evaluación.



Figura 5. Aplicación de cuestionarios. Fuente: Captura en sitio.

El procedimiento que se llevó a cabo para la preparación de la base de datos consistió en la omisión de los valores atípicos a fin de promover consistencia en la base de datos. El proceso que se realizó para la identificación de los datos atípicos fue el de Jerarquía Ponderada, propuesta por Rincón [45].

2.7. Métodos estadísticos univariantes de correlación de datos

La correlación y el análisis de la base de datos se realizó con dos métodos estadísticos de correlación univariable: Regresión Lineal Simple (RLS) y Medias por Intervalo de Sensación Térmica (MIST), los cuales son utilizados con mayor frecuencia en los estudios de confort térmico (ej. [48], [10], [3], [23], [24], [39], [30]).

Lo anterior fue con el fin de identificar un referente de valores diferenciados entre los obtenidos con cada uno de los métodos de análisis, con el propósito de establecer cuál podría aplicarse con mayor precisión a las condiciones climáticas locales de Ensenada.

La RLS es una técnica estadística utilizada para estudiar la relación entre variables, éste puede utilizarse para explorar y cuantificar la relación entre una variable dependiente y una variable independiente, así como para desarrollar una ecuación lineal con fines predictivos [49].

Por su parte, el MIST utiliza la estadística descriptiva para la estimación de un valor neutral de temperatura. La diferencia fundamental con el método de RLS es que antes de obtener la línea de regresión que caracteriza a la muestra estudiada, se determinan grupos o estratos de la misma para calcular el valor promedio y la desviación estándar (DS) de cada una de ellos con el objetivo de determinar el valor medio de temperatura de todas las respuestas de

cada categoría. De esa manera, la regresión no se hace con todos los pares de datos de la muestra, sino sólo con los valores medios y los rangos se establecen mediante la adición y sustracción de una o dos veces la DS de la muestra [10], [11].

3. Resultados

Durante el análisis y el procesamiento de datos no hubo distinción de edad, género, actividad metabólica o nivel de arropamiento en los sujetos evaluados, a fin de estimar valores genéricos aplicables a la población general de la ciudad de Ensenada.

Si bien, estas variables tienen influencia en la percepción térmica de los sujetos, las variables con mayor impacto son las relacionadas con el ambiente térmico, de acuerdo con la ANSI ASHRAE 55 [6] y la ISO 7730 [5], por lo que los valores aquí presentados refieren a la estimación obtenida con la correlación de la ST y la TGN, la TBS, la HR y la VV, respectivamente.

El total de observaciones recabadas fueron 425, de las cuales solo se procesaron 377; la diferencia se debió a la diversidad de condiciones ambientales en las que se recabaron respecto a las requeridas para el procesamiento reportado en esta publicación.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos por variable física analizada y por método estadístico utilizado. Para efectos de eficientar la extensión del artículo, únicamente se muestra el procesamiento de datos aplicado sobre la variable ambiental que mostró mayor influencia en la percepción térmica de los sujetos, la TGN. En el resto de las variables físicas analizadas fue llevado a cabo el mismo procedimiento, sin embargo, en esta sección solo se incluyen los gráficos resumen de resultados.

3.1. Índice de confort térmico por TGN

De acuerdo con los resultados obtenidos con la correlación realizada por el método de Medias por Intervalos de Sensación Térmica (MIST), el valor de neutralidad de la TGN respecto a la ST percibida por los sujetos resultó en **25,4 °C**, el rango de confort reducido se estimó de **22,8 °C a 27,8 °C** con un intervalo de 5,0 K, y, el rango de confort extenso se estimó de **19,7 °C a 29,8 °C** con un intervalo de 10,1 K.

La categoría que reflejó un grado mayor de adaptación psicofisiológica por parte de los sujetos, fue la cuarta (ni calor, ni frío), teniendo un valor de DS superior a las demás de forma significativa. Desde la quinta categoría hasta la séptima, se obtuvieron valores aproximados entre sí, con DS de 2,0 y 2,5. La segunda y tercera categoría, obtuvieron valores de DS por debajo de las anteriores, siendo de 1,2 y 1,8 respectivamente (Figura 6).

La regresión lineal media resultó con una r^2 de 0,9626, lo que equivale a una correlación de variables muy alta, teniendo certeza en la concentración de respuestas (muestra no dispersa) [50].

Por su parte, con el procesamiento obtenido por el método de la regresión lineal simple (RLS), el valor neutral de la TGN resultó en **24,1 °C**, los límites inferior y superior del confort fueron de **16,7 °C y 31,5 °C** respectivamente, con un intervalo de 14,8 K.

El grado de correlación entre los puntos de dispersión y la recta de regresión es baja, dado que la r^2 fue de 0,1067, teniendo un alto grado de dispersión en la muestra analizada [50] (Figura 7).

SENSACIÓN TÉRMICA – TEMPERATURA DE GLOBO NEGRO: SEPTIEMBRE Y OCTUBRE

Observaciones procesadas: 377 (201 de mujeres y 176 de hombres) Nivel de actividad: 3 niveles

SENSACIÓN TÉRMICA	TEMPERATURA DE GLOBO NEGRO							RSTP
	ESCALA	DS	-2DS	-1DS	MEDIA	+1DS	+2DS	
Mucho Calor	7	2,0	27,4	29,4	31,5	33,5	35,6	4
Calor	6	2,5	23,7	26,3	28,8	31,3	33,8	14
Algo de Calor	5	2,0	22,4	24,4	26,4	28,4	30,4	81
Ni Calor, Ni frío	4	5,2	14,5	19,7	25,0	30,2	35,4	189
Algo de Frío	3	1,8	20,0	21,8	23,6	25,4	27,2	81
Frío	2	1,2	20,3	21,5	22,7	23,9	25,1	8
Mucho Frío	1	-	-	-	-	-	-	0

Neutral	19,7	22,8	25,4	27,8	29,8
Amplitud	5,7	2,6	(+)	2,4	4,4
Rango reducido	↔		5,0 K	↔	
Rango extenso	↔		10,1K	↔	

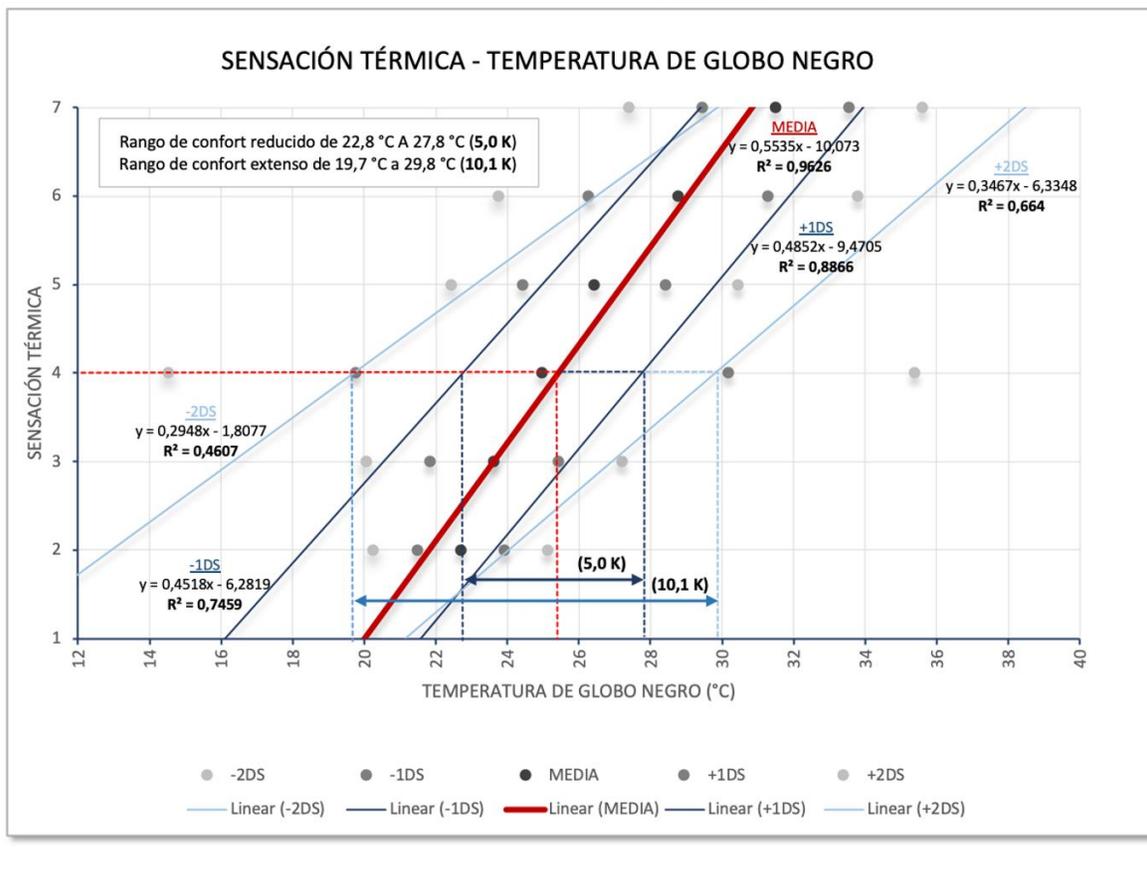


Figura 6. Análisis correlacional de la ST y la TGN a partir del MIST. Fuente: Elaboración propia.

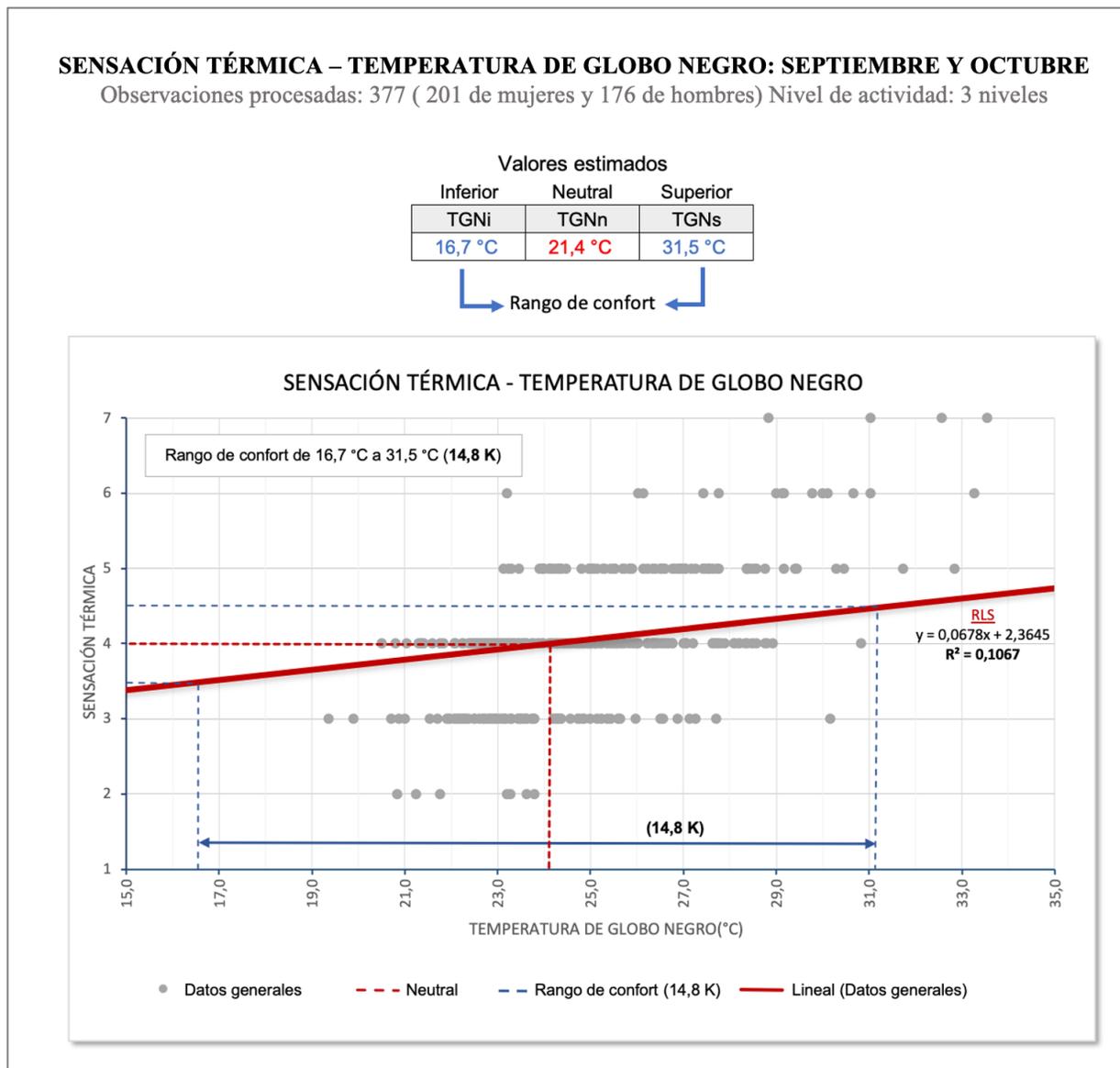


Figura 7. Análisis correlacional de la ST y la TGN a partir de la RLS. Fuente: Elaboración propia.

Con base en lo expuesto anteriormente, en ambos métodos se muestra mayor adaptación a temperaturas altas (por encima del valor neutral) y menor adaptación a temperaturas por debajo de 16,7 °C (tendiente a lo frío), por lo que se aprecia una relación, ya que los límites superiores se encontraron cercanos entre sí, con 29,8 °C en el MIST y 31,5 °C en la RLS, además de que se mostró proximidad en los valores neutrales obtenidos, siendo de 25,4 °C en el MIST y de 24,1 °C en la RLS con una diferencia de 1,3 K (Figura 8).

3.2. Índice de confort térmico por TBS

De acuerdo con los resultados obtenidos con la correlación realizada por el método del MIST, la estimación del valor de neutralidad de la TBS respecto a la ST percibida por los sujetos resultó en 22,2 °C, el rango de confort reducido se estimó de 20,7 °C a 23,7 °C con un intervalo de 3,0 K, y, el rango de confort extenso se estimó de 19,2 °C a 25,1 °C con un intervalo de 5,9 K.

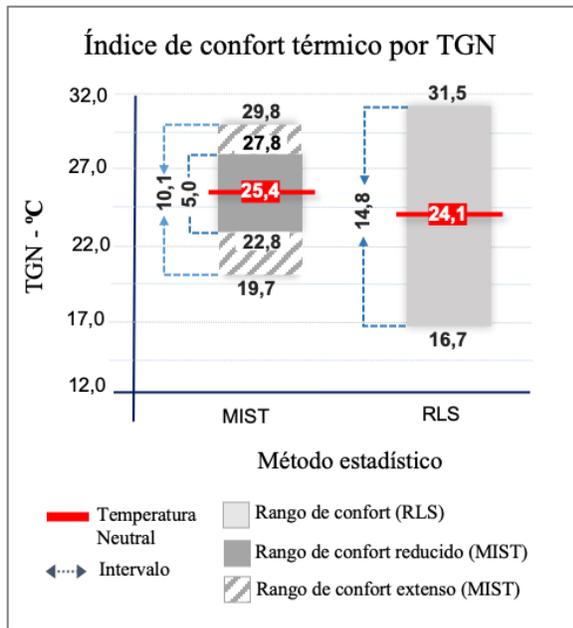


Figura 8. Índice de confort térmico por TGN. Fuente: Elaboración propia.

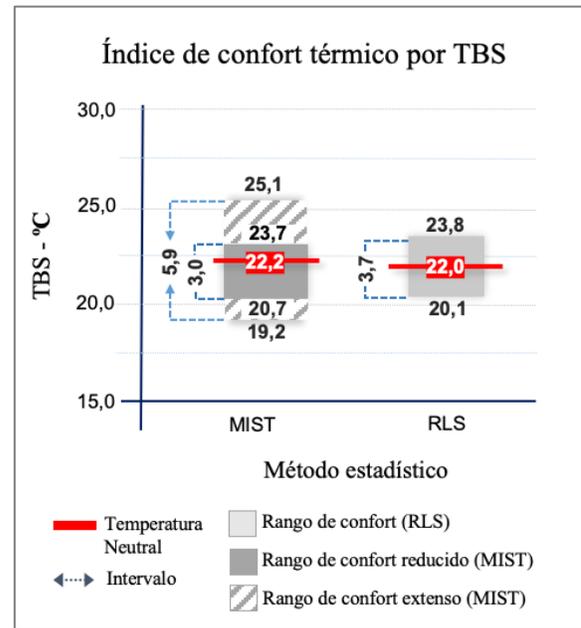


Figura 9. Índice de confort térmico por TBS. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al procesamiento realizado con la RLS, el valor neutral de la TBS resultó de **22,0 °C**, los límites inferior y superior del rango de confort fueron de **20,1 °C** y **23,8 °C** respectivamente, con un intervalo de 3,7 K.

Los resultados estimados en ambos métodos fueron congruentes entre sí, ya que se obtuvieron valores próximos, tanto en la temperatura neutral (T_n), ya que fueron de 22,2 °C en el MIST y de 22,0 °C en la RLS, así como en el rango de confort térmico de la RLS con respecto al rango reducido del MIST, siendo de 23,8 °C a 20,1 °C y de 23,7 °C a 20,7 °C respectivamente (Figura 9).

Los rangos de confort térmico estimados con ambos métodos se encuentran dentro de las temperaturas promedio presentadas típicamente en el ambiente, con una temperatura mínima de 17,3 °C y una máxima de 24,9 °C [43], a excepción del límite de temperatura superior del rango extenso del MIST, ya que es de 25,1 °C.

3.3. Índice de confort térmico por HR.

Con el método estadístico del MIST, fue posible estimar el valor de neutralidad de la HR respecto a la ST percibida por los sujetos, siendo de **68,6 %**, el rango de confort reducido se estimó de **61,3 %** al **75,9 %** con un intervalo de 14,6 %, y, el rango de confort extenso se estimó de **54,3 %** al **83,6 %** con un intervalo de 29,3 % (Figura 10).

Respecto a los resultados de la correlación de la ST con la HR obtenidos con la RLS, el valor neutral fue de **76,2 %**, los límites inferior y superior del confort fueron de **0,1 %** a **99,9 %** con un intervalo de 99,8 %.

Basándose en los valores derivados de ambos métodos, se obtuvieron mejores resultados con el MIST ya que el rango de confort resultante con la RLS va desde el valor mínimo hasta el máximo de HR (de 0,01%–99,9%), dado que los límites inferior y superior, desde el punto de vista estadístico, quedaban fuera de la escala de la variable analizada (0,0 %–100,0 %), por lo

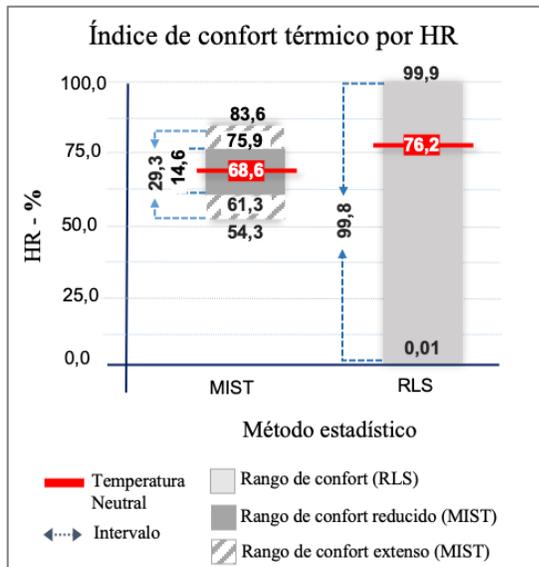


Figura 10. Índice de confort térmico por HR. Fuente: Elaboración propia.

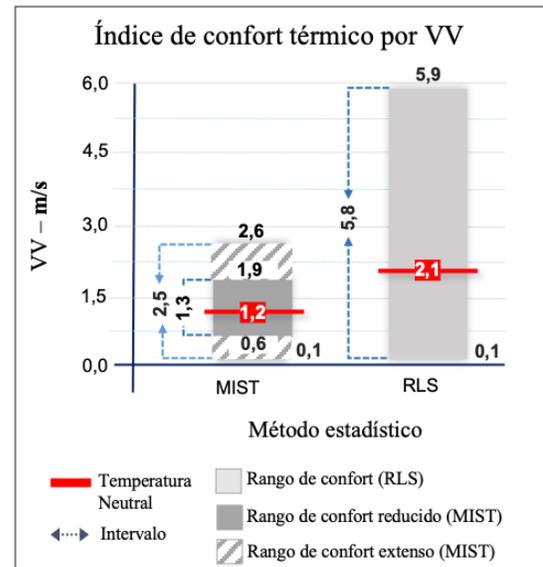


Figura 11. Índice de confort térmico por VV. Fuente: Elaboración propia.

que indicaría que en todo momento se tiene tolerancia a la humedad, lo cual resulta incierto.

3.4. Índice de confort térmico por VV.

A partir de la correlación realizada con el método del MIST, se estimó el valor de neutralidad de la VV respecto a la ST percibida por los sujetos en **1,2 m/s**, el rango de confort reducido se estimó de **0,6 m/s a 1,9 m/s** con un intervalo de 1,3 m/s, y, el rango de confort extenso se estimó de **0,1 m/s a 2,6 m/s** con un intervalo de 2,5 m/s

Referente a la correlación de la VV con la ST llevada a cabo con la RLS, el valor neutral resultó de **2,1 m/s**, los límites inferior y superior del confort fueron de **0,1 m/s y 5,9 m/s** respectivamente, con un intervalo de 5,8 m/s (Figura 11).

En función a lo anteriormente expuesto, se percibe que con el MIST se obtuvo mayor consistencia en los resultados, ya que el límite superior del rango de confort con la RLS (5,9 m/s) resultó por encima de las condiciones de viento presentadas en el estudio.

Los límites inferiores en ambos métodos resultaron con un valor negativo, sin embargo, dado a que en la realidad no existen valores negativos de viento, el valor mínimo estimado se tomó de 0,1 m/s y no el obtenido estadística y gráficamente.

4. Discusión

Para abordar este apartado, se tomaron como referencia dos trabajos sobre el confort térmico en espacios exteriores, a fin de que los resultados obtenidos en este artículo puedan ser discutidos en el contexto de otras investigaciones. Para seleccionar dichos trabajos, estos debían contar con ciertas similitudes con las de este trabajo, por ejemplo: el periodo de estudio, la metodología utilizada, la estimación de los rangos de confort térmico de alguna de las variables físicas del ambiente consideradas en este estudio (TGN, TBS, HR y VV), cercanía con la región geográfica del caso de estudio, entre otras.

Las investigaciones seleccionadas fueron:

1. “Confort térmico en exteriores: actividades en espacios recreativos, en clima cálido seco extremo” realizada en Mexicali, Baja California por Bojórquez en el 2010 [3].
2. “Confort térmico en los espacios públicos urbanos, clima cálido y frío semi-seco” llevada a cabo en Nogales, Sonora por Guzmán y Ochoa en el 2014 [4].

Ambas investigaciones fueron realizadas en el periodo cálido, y llevadas a cabo mediante la aplicación de encuestas subjetivas y la medición simultánea de las variables climáticas, la estimación se realizó mediante la correlación de las variables físicas registradas y la sensación térmica percibida por los sujetos de estudio con el método estadístico MIST. En la primera, se obtuvieron los valores neutrales y los rangos de confort térmicos reducidos y extensos de la TGN, la TBS, la HR y la VV (al igual que en esta investigación), sin embargo, la segunda investigación solo presenta los resultados de la TBS, por lo tanto, fue esta la variable que se utilizó para el análisis y discusión.

En cuanto a la ubicación geográfica, las tres ciudades se sitúan en el noroeste de México, y sus estados se encuentran en colindancia terrestre entre sí. Cabe mencionar que Baja

California y Sonora se encuentran en la segunda zona árida de la República Mexicana, la cual cuenta con poca precipitación, ya que, en gran parte de su extensión, el promedio anual de la lluvia es menor de 200 mm y en ciertas áreas no llega a 50 mm [51].

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos de la temperatura neutral (Tn) y los rangos de confort reducido y extenso de la TBS, de los estudios del confort térmico en espacios exteriores realizados en Ensenada, B.C. (los valores agregados corresponden a los estimados con el MIST), Mexicali, B.C., y Nogales, Sonora.

Los valores obtenidos en Mexicali muestran una mayor adaptación a temperaturas altas, con respecto a los valores estimados en Ensenada y Nogales, lo cual resulta natural debido a que el intervalo de temperatura ambiente promedio que se da en dicha ciudad, en el periodo cálido, se encuentra de 25 °C a 42 °C [52], lo cual indica que las personas que habitan ésta localidad se encuentran constantemente expuestas a condiciones cálidas, por lo que han desarrollado mayor adaptación a éstas, lo anterior confirma que, de acuerdo con Brager y de Dear, la sensación térmica que una persona presenta varía según su localidad, su estado sociocultural y de persona a persona [13].

Tabla 2. Valores estimados de Tn y rangos de confort térmico de la TBS a partir de la correlación con la ST con el MIST.

Variable física analizada: TBS				
Ciudad	Bioclima	Rangos de confort térmico		Temperatura neutral (Tn)
		Reducido	Extenso	
Ensenada, B.C.	Templado-seco	20,7 °C – 23,7 °C	19,2 °C – 25,1 °C	22,2 °C
Mexicali, B.C. [3]	Seco-extremoso	30,5 °C – 38,2 °C	26,7 °C – 42,1 °C	34,4 °C
Nogales, Sonora [4]	Semiseco-templado	24,0 °C – 27,2 °C	22,2 °C – 28,8 °C	25,8 °C

Fuente: Elaboración propia.

El intervalo promedio de temperatura en Nogales, en el periodo de estudio, es de 18 °C

a 34°C [53], y en Ensenada de 17,3 °C a 24,9 °C [43], la primera presenta una

magnitud mayor de temperatura sobre la máxima de la segunda, mientras que las mínimas, en ambos casos, se encuentran próximas, lo anterior indica que Nogales presenta condiciones más cálidas que Ensenada.

Los rangos estimados de confort térmico en Nogales se encuentran con mayor adaptación a temperaturas altas que los de Ensenada, así mismo con los valores de T_n .

Por lo mencionado anteriormente, se asume que la población de Ensenada, muestra mayor adaptación hacia temperaturas bajas (tendientes a lo frío) con respecto a Mexicali y a Nogales en el periodo cálido, lo cual se debe a grandes rasgos, a la proximidad que la ciudad tiene con respecto al mar y a las variaciones que esto podría generar en los parámetros de las variables físicas del ambiente, tales como la VV y la HR, ya que en Ensenada, en el periodo de estudio, la HR registrada fue de 65,3 % a 92,8 %, con una VV de 0,1 m/s a 4,7 m/s, mientras que en Nogales la HR fue de 19,9 % a 68 %, la VV de 0,1 m/s a 3,5 m/s, y, en Mexicali la HR fue entre 30 % y 65% y la VV de 0,2 m/s a 1,0 m/s [3], [4].

5. Confort térmico por factores endógenos

Con el fin de identificar el grado de influencia que ciertos factores endógenos de la muestra poblacional estudiada ejercieron sobre la sensación térmica de los sujetos y, por ende, sobre su confort térmico, en este apartado se muestran los valores térmicos obtenidos a partir del análisis generado con la subclasificación de la base de datos por nivel de actividad metabólica, nivel de aislamiento térmico por arropamiento y género. En este sentido, y con el propósito de mostrar los valores térmicos que mayor representatividad reflejaron sobre el confort térmico de las

personas, los valores aquí presentados derivan específicamente de la correlación de la Sensación Térmica y la Temperatura de Globo Negro, realizada a partir del método de Medias por Intervalos de Sensación Térmica, método que mostró valores con mayor causalidad respecto a las condiciones propias del sitio de estudio.

5.1. Confort térmico por nivel de actividad

Con base en el análisis realizado con los diferentes niveles de actividad, es posible notar la variación en la estimación del confort térmico en espacios exteriores, donde la submuestra (87 sujetos) que realizaba una actividad moderada (1,2 met, en promedio) presentó parámetros de confort más reducido (7,7 K) respecto a la submuestra que realizaba una actividad pasiva (1,0 met, en promedio), debido a la actividad metabólica y la generación de calor del cuerpo en un ambiente térmico ligeramente caluroso con mayor TNG, cuya T_n varió muy poco, entre los 24,9 a 25,5 K, que causó un incremento de la temperatura corporal y menores pérdidas.

Conforme disminuye la generación de calor corporal por una actividad pasiva o en reposo, la evaluación de 188 sujetos logró ampliar su rango de confort extenso respecto a su ambiente inmediato a 9,9 K. Esto es, entre mayor actividad metabólica presenta la submuestra evaluada, la amplitud del rango de confort térmico es más reducida y se presenta con valores tendientes a temperaturas frías (o inferiores a las temperaturas promedio estimadas con las submuestras con actividad metabólica inferior).

Cabe destacar que el análisis con los 3 niveles de actividad (376 evaluaciones) estimó un rango de confort térmico de 10,1 K, presentando un mínimo de diferencia con

respecto a la actividad pasiva y, en cuyo caso, el rango de confort térmico reducido fue el mismo con 5,0 K. No se presentaron casos de actividad metabólica intensa (Figura 12).

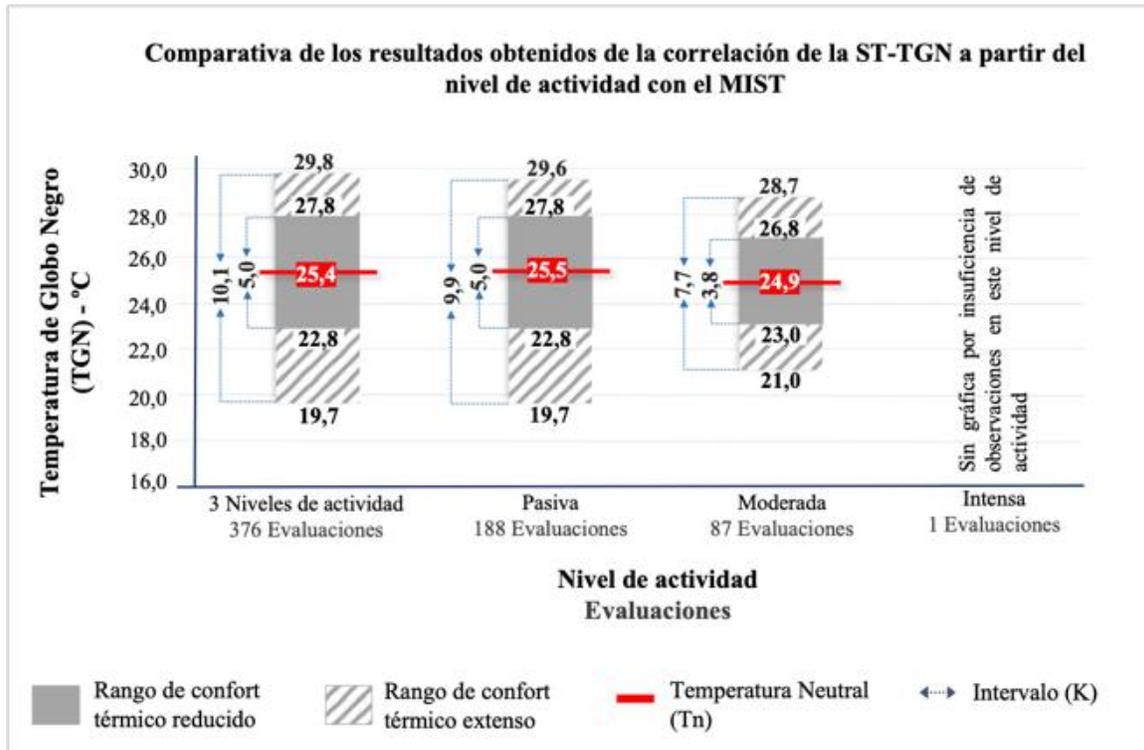


Figura 12. Estimación y comparación del confort térmico a partir del nivel de actividad presentada por la muestra evaluada. Fuente: Elaboración propia.

5.2. Confort térmico por nivel de arropamiento

Para el análisis comparativo del nivel de arropamiento, se contemplaron 5 niveles, dentro de los cuales el muy ligero con 16 evaluaciones, el ligero con 181 y el normal con 152, obtuvieron un rango de confort térmico extenso muy parecido, dentro de los 7,2 K y 7,3 K; en tanto, el rango reducido del nivel de arropamiento muy ligero y normal fue muy similar, 3,7 y 3,6 K, respectivamente, destacando este rango reducido para el arropamiento ligero que alcanzó los 5,3 K. Por último, se procesaron 25 valoraciones para sujetos abrigados, donde fue clara la disminución del rango de confort, permitiendo

apreciar que, a mayor nivel de arropamiento, aumenta el aislamiento con el ambiente exterior reduciendo el contacto con el mismo, así como el intercambio de calor, una reducción del rango de confort, tanto extenso como reducido, dependiendo de factores endógenos. La Tn del valor de TGN fluctuó ligeramente de 24,2 a 25,5 °C, donde la mayor amplitud de confort se obtuvo al agrupar los 5 niveles de arropamiento con 10,1 k para el rango extenso y 5,0 K para el reducido (Figura 13).

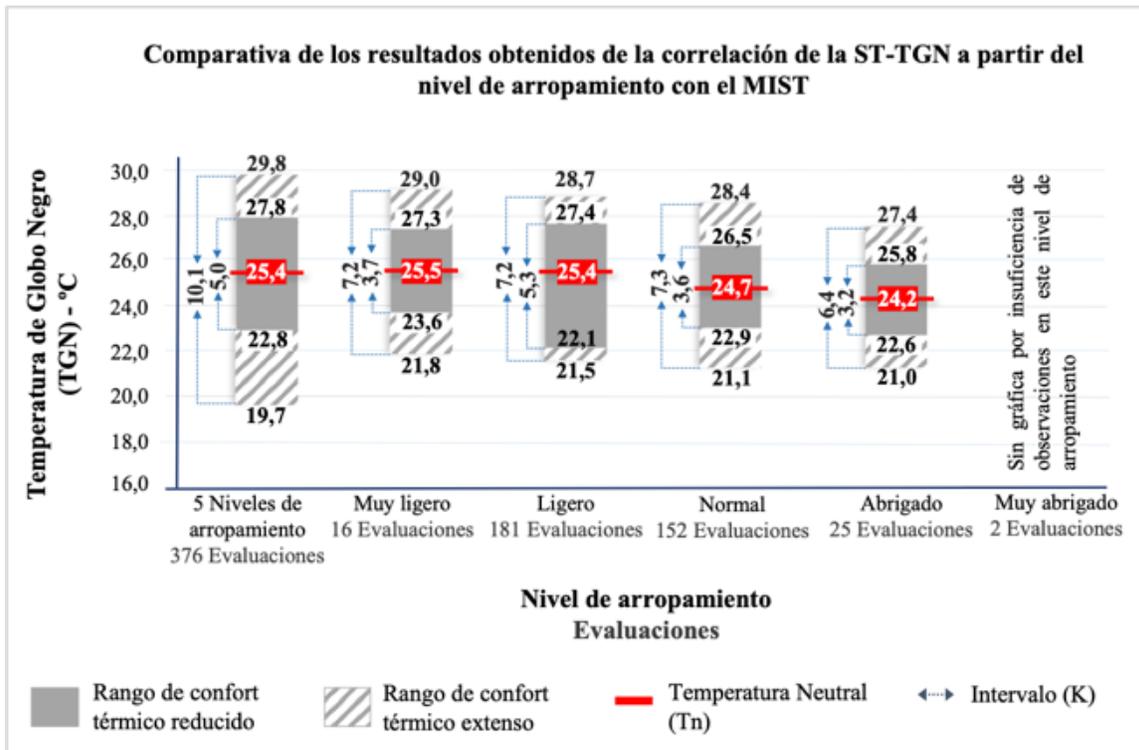


Figura 13. Estimación y comparación del confort térmico a partir del nivel de arropamiento presentado por la muestra evaluada. Fuente: Elaboración propia.

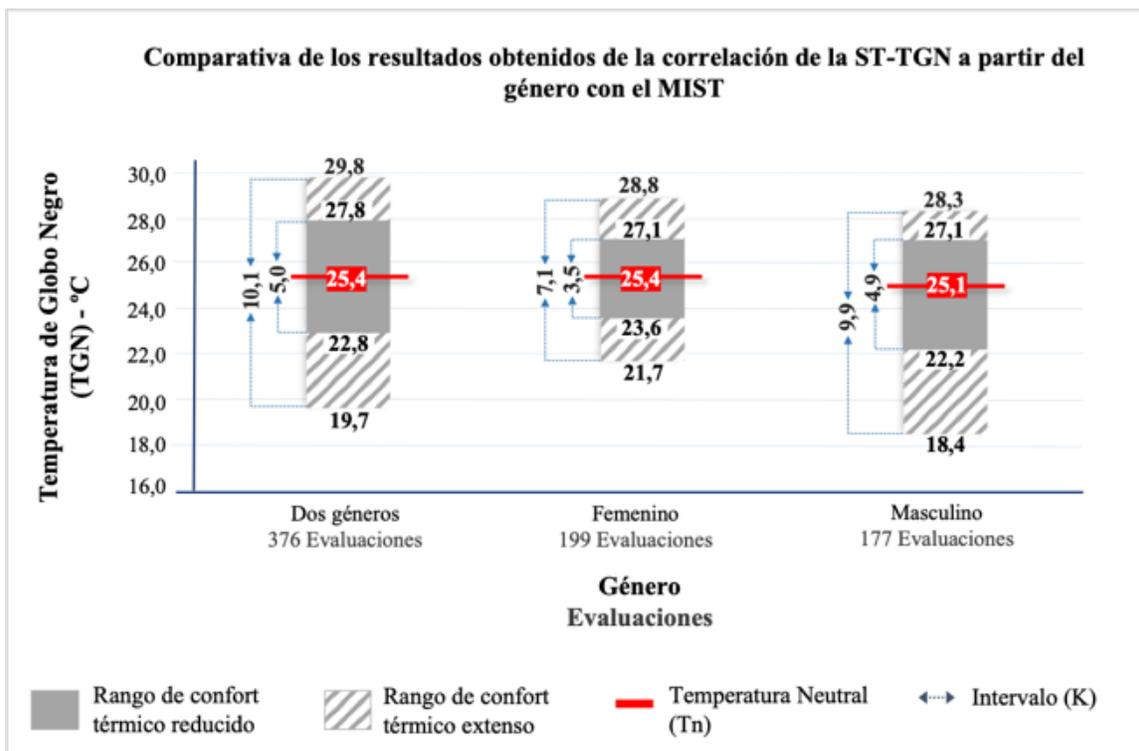


Figura 14. Estimación y comparación del confort térmico a partir del género de la muestra evaluada. Fuente: Elaboración propia.

5.3. Confort térmico por género

El confort térmico estimado a partir del género de los sujetos evaluados se estimó con una Tn de TGN muy parecida, 25,4 °C para mujeres (199 evaluaciones) y 25,1 °C para hombres (177 evaluaciones). En este caso, el rango térmico de confort para el género femenino fue mucho menor, con un rango extenso de 7,1 K y reducido de 3,5 K, mientras que para el género masculino se obtuvo un rango extenso de 9,9 K y reducido de 4,9 K, lo cual concuerda con los requerimientos energéticos de la mujer ligeramente menores al hombre, lo que deriva en una disminución de la generación de calor, siendo éstas más vulnerables a las ganancias o pérdidas de calor con el ambiente térmico exterior y reduciendo su respuesta de percepción de confort. De igual modo, al conjuntar ambos géneros el resultado fue también un rango extenso de 10,1 K y reducido de 5,0 K como en los casos anteriores (Figura 14).

6. Conclusiones

Los sitios elegidos para realizar el estudio, dentro de la U.A.B.C. campus Sauzal, resultaron apropiados para el desarrollo de la investigación ya que cumplen con los criterios de espacios exteriores de uso público en cuanto a su dimensión ambiental, por lo que los resultados no son exclusivos para la institución educativa, sino que podrían extrapolarse a otros casos de estudio de características y condiciones similares dentro de la ciudad de Ensenada.

Es de destacar las mejoras implementada a la metodología para la estimación del confort térmico en exteriores, con la toma de datos a 3 alturas del instrumental para la lectura de variables físicas (N+0.10, N+1.10 y N+1.70), así como el alentar al encuestado y la confiabilidad de respuesta a través de la aplicación de un cuestionario sintetizado,

apegado a sensación y preferencia térmica de variables físicas de relevancia para el estudio, así como el diseño de una herramienta gráfica amigable, todas ellas aportaciones que permiten tener registro de información más precisa.

Uno de los principales hallazgos de este artículo, es que se están estimando rangos de confort térmico con todas las variables ambientales de manera independiente, por dos distintos métodos estadísticos, con la obtención de valores simultáneos calculados por MIST Y RLS, realizando un análisis comparativo y permitiendo mayor claridad para definir su grado de importancia en la estimación de variables físicas en el ambiente térmico.

La influencia que cada una de las variables registradas representó sobre la ST percibida de los sujetos, en orden jerárquico, fue la siguiente:

- a) TGN (con una r^2 de 0,3490);
- b) TBS (con una r^2 de 0,2911);
- c) HR (con una r^2 de 0,0012); y,
- d) VV (con una r^2 de 0,0006)

Lo anterior podría resultar natural si nos enfocamos al hecho de que las evaluaciones fueron realizadas en ambientes exteriores, por lo que, la TGN representa mayor influencia respecto al resto de variables registradas.

En cuanto al análisis de los resultados obtenidos con el MIST y la RLS, fue posible apreciar que, con la RLS, tanto con la HR como con la VV, los valores obtenidos no derivan de una correlación causal o fenomenológica, lo que implica que los resultados podrían no corresponder con las condiciones presentadas en el sitio e incluso estimar rangos de confort abarcando desde el valor mínimo hasta el máximo de la escala de valores de la variable individual.

Por lo anteriormente presentado, se asume que el método estadístico de Regresión Lineal Simple no podría considerarse del todo certero para llevar a cabo estudios de este tipo (confort térmico en exteriores) en cuanto a la Humedad Relativa y a la Velocidad de Viento se refiere, dado que los resultados estimados son ajenos a las condiciones reales presentadas en el ambiente.

El método de Medias por Intervalo de Sensación Térmica ofreció valores congruentes con las condiciones típicas que dan lugar de forma natural en el sitio, lo que permite entrever la relación fenomenológica que éste presenta respecto a condiciones reales de estudio.

Los rangos ambientales obtenidos para Ensenada correspondieron a las condiciones que de manera natural se presentan en el periodo cálido, mismo caso se dio en los estudios de Mexicali y Nogales, ya que la sensación térmica percibida por las personas varía dependiendo de la localidad [13], lo anterior se debe a que, de acuerdo de la ubicación geográfica, cambian los factores del clima que influyen en la ST, tales como la humedad y el viento.

Por último, en la Tabla 3 se presenta un resumen de los indicadores de confort térmico estimados a partir de la correlación de la ST y cada una de las variables físicas analizadas (TGN, TBS, HR y VV), a partir de los dos métodos estadísticos univariados de correlación de datos utilizados: MIST y RLS.

Tabla 3. Indicadores de confort térmico estimados a partir de la correlación de la ST con la TBS, la TGN, la HR y la VV por método estadístico aplicado.

Variable	Unidad	Rango de confort térmico		
		MIST		RLS
		Rango de Reducido	Extenso	
TBS	°C	20,7 a 23,7	19,2 a 25,1	20,1 a 23,8
TGN	°C	22,8 a 27,8	19,7 a 29,8	16,7 a 31,5
HR	%	61,3 a 75,9	54,3 a 83,6	0,01 a 99,9
VV	m/s	0,6 a 1,9	0,1 a 2,6	0,1 a 5,9

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, al desarrollar el análisis a partir de la estratificación de la base de datos por nivel de actividad, grado de arropamiento y género, fue posible concluir que el confort térmico en todos los casos se estimó con mayor amplitud hacia temperaturas por debajo de la de confort que por encima de ésta, lo que resulta natural al visualizar que las condiciones climáticas del sitio de estudio son predominantemente frías a lo largo del año, permitiendo advertir la influencia del historial térmico que las personas presentan

en este caso. Asimismo, es posible concluir que:

- Con base en el análisis por nivel de actividad: La influencia del calor interno con la actividad moderada se hace presente al obtenerse rangos de confort térmico con menor amplitud respecto al obtenido con el resto de actividades o, en su caso, con el total de ellas. Cabe mencionar que la submuestra analizada con esta actividad representa al 23 % de la muestra total estudiada, lo que

permite advertir la predominancia de actividades pasivas en espacios exteriores en el caso de estudio: Leer, convivir, platicar, estudiar, caminar, descansar, etc., equivalentes a un rango de 1,0 a 1,2 met.

En general, la temperatura neutra en todos los casos se muestra próxima entre sí, lo que varía es la amplitud de los rangos de confort quienes se ajustan en función de la actividad desarrollada por la submuestra analizada.

- Con base en el análisis por nivel de arropamiento: El confort térmico es diferente entre sí (tanto en la temperatura neutra como en el rango de confort) con los diferentes niveles de arropamiento analizados; sin embargo, se aprecia una clara tendencia a valores térmicos mayores en tanto el grado de arropamiento es inferior, y a valores térmicos inferiores en tanto el nivel de arropamiento es mayor, fenómeno natural dada la acción de aislamiento térmico que las diferentes prendas ejercen sobre el cuerpo humano para lograr la adaptación al ambiente inmediato en el menor tiempo posible.

En este caso, la mayor cantidad de sujetos evaluados se concentran en los niveles de arropamiento ligero y normal, equivalentes a 0,4 y 0,7 clo, respectivamente, lo que permite advertir el grado de vestimenta que los sujetos portan durante el periodo cálido en el sitio de estudio a efecto de adaptarse a las condiciones térmicas predominantes en ese periodo en espacios exteriores.

- Con base en el análisis por nivel de arropamiento: La temperatura neutra prácticamente presenta el mismo valor tanto en mujeres como en hombres o, en su caso, con el análisis obtenido con ambos géneros; la diferencia radica en la amplitud de los rangos de confort en donde es posible visualizar una más estrecha (7,1 K) en el confort térmico de las mujeres, que en el de los hombres (9,9 K), dada la complejidad física que cada uno de ellos presenta. No obstante, es de destacar que el confort térmico de las mujeres (21,7 a 28,8 °C) tiende a temperaturas mayores que las sugeridas para los hombres (18,4 a 28,3 °C), lo que permite advertir la influencia biológica y fisiológica del ser humano sobre el confort térmico de las personas; sobre todo, porque en este caso, particularmente, la cantidad de sujetos evaluados en cada una de las submuestras, según el género (mujeres-hombres), es equivalente.

7. Agradecimientos

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 al UABC-CA-300 *Arquitectura, medio ambiente y energía* por el Programa para el Desarrollo Profesional Docente para el Tipo Superior (PRODEP), con IDCA 28903, en el marco de la convocatoria 2018 Apoyo para el fortalecimiento de los CA, a quien se le reconoce y agradece los apoyos económicos para llevarlo a cabo.

Asimismo, se extiende el agradecimiento a la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), por brindar las facilidades de

acceso y recurso humano para el desarrollo de los trabajos de campo en las diferentes instalaciones de su unidad Sauzal.

8. Reconocimiento de autoría

López-Cañedo, J.: Conceptualización, Software, Validación, Análisis formal, Investigación, Curación de datos, Escritura (borrador original). Rincón-Martínez, J.: Conceptualización, Metodología, Validación, Análisis formal, Recursos, Curación de datos, Escritura (revisión y edición). Fernández-Melchor, F.: Análisis formal, Escritura (revisión y edición).

Referencias

- [1] M. Nikolopoulou, «Designing Open Spaces in the Urban Environment: a Bioclimatic Approach.» *Centre for Renewable Energy Sources*, 2004.
- [2] M. Nikolopoulou y S. Lykoudis, «Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries.» *Building and Environment*, vol. 41, n° 11, pp. 1455-1470, DOI: 10.1016/j.buildenv.2005.05.031, 2006.
- [3] G. Bojórquez, Confort térmico en exteriores: Actividades en espacios recreativos, en clima cálido seco extremo., Tesis doctoral. Universidad de Colima, Facultad de Arquitectura y Diseño. Colima, 2010.
- [4] F. Guzmán Bravo y J. Ochoa De la Torre, «Confort Térmico en los Espacios Públicos Urbanos, Clima cálido y frío semi-seco.» *Revista Hábitat Sustentable*, vol. 4, n° 2, pp. 52-63, <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/450>, 2014.
- [5] International Organization for Standardization., ISO 7730:2005 (E) 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., Ginebra: Autor, 2005.
- [6] American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, ANSI/ASHRAE Standar 55-2017. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Atlanta, 2017.
- [7] M. Portela Santiago, A. Guevara Velazco y A. León Lee, «Cálculo y Terminología de las Sensaciones Térmicas en el pronóstico del tiempo para Cuba.» *Revista Cubana de Meteorología*, vol. 7, n° 1, pp. 30-33, 2000.
- [8] S. Szokolay, Introduction to Architectural Science: The basis of sustainable desing, London: Architectural Press, Elsevier, 2003.
- [9] M. Nikolopoulou y K. Steemers, «Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces.» *Energy and Buildings*, vol. 35, n° 1, pp. 95-101, [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00084-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00084-1), 2003.
- [10] G. Gómez-Azpeitia, R. Ruiz y G. y. R. R. Bojórquez, «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, México, 2007.
- [11] M. Humphreys y F. Nicol, «Understanding the adaptative approach to thermal comfort.» *ASHRAE Transactions, Technical Bulletin.*, vol. 104, n° 1, pp. 991-1004. Atlanta: ASHRAE, 1998.
- [12] H. Critchfield, Climate and human comfort, General Climatology. London: Prentice-Hall, 1974.
- [13] G. Brager y R. de Dear, «Thermal adaptation in the built environment: a literature review.» *Energy and Buildings*, vol. 27, n° 1, pp. 83-96, [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00053-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00053-4), 1998.
- [14] E. Thom, «The Discomfort Index.» *Weatherwise*, vol. 12, n° 2, pp. 57-61, 1959.
- [15] R. Steadman, «The Assessment of Sultriness. Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science.» *J. Appl. Meteorol.*, vol. 18, pp. 861-873, DOI:

- [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1979\)018<0861:TAOSPI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1979)018<0861:TAOSPI>2.0.CO;2), 1979.
- [16] R. Steadman, «Indices of Windchill of Clothed Persons,» *Journal of Applied Meteorology (1962-1982)*, vol. 10, n° 4, pp. 674-683, <https://www.jstor.org/stable/26175675>, 1971.
- [17] P. O. Fanger, «Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering,» *Danish Technical Press, Copenhagen*, 1970.
- [18] H. Mayer y P. Höppe, «Thermal comfort of man in different urban environments,» *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 38, n° 1, pp. 43-49, <https://doi.org/10.1007/BF00866252>, 1987.
- [19] R. de Dear y J. Pickup, «an Outdoor Thermal Comfort Index (Out-Set*) -Part I—the Model and Its Assumptions,» *15th ICB & ICUC*, pp. 1-7, <https://www.researchgate.net/publication/268983313>, 1999.
- [20] G. Jendritzky, R. de Dear y G. Havenith, «UTCI—Why another thermal index?,» *International Journal of Biometeorology*, vol. 56, n° 3, pp. 421-428, <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0513-7>, 2012.
- [21] I. Knez y S. Thorsson, «Influences of culture and environmental attitude on thermal, emotional and perceptual evaluations of a public square,» *International Journal of Biometeorology*, vol. 50, n° 5, pp. 258-268, <https://doi.org/10.1007/s00484-006-0024-0>, 2006.
- [22] S. Manavvi y E. Rajasekar, «Evaluating outdoor thermal comfort in “Haats” – The open air markets in a humid subtropical region,» *Building and Environment*, vol. 190, n° August 2020, pp. 107527, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107527>, 2021.
- [23] S. S. Y. Lau, J. Zhang y Y. Tao, «A comparative study of thermal comfort in learning spaces using three different ventilation strategies on a tropical university campus,» *Building and Environment*, vol. 148, n° August 2018, pp. 579-599, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.11.032>, 2019.
- [24] M. Trebilcock, J. Soto-Muñoz y J. Piggot-Navarrete, «Evaluation of thermal comfort standards in office buildings of Chile: Thermal sensation and preference assessment,» *Building and Environment*, vol. 183, pp. 107158, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107158>, 2020.
- [25] M. Shrestha, H. Rijal, G. Kayo y M. Shukuya, «A field investigation on adaptive thermal comfort in school buildings in the temperate climatic region of Nepal,» *Building and Environment*, vol. 190, pp. 107523, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107523>, 2021.
- [26] S. Shahzad y H. B. Rijal, «Preferred vs neutral temperatures and their implications on thermal comfort and energy use: Workplaces in Japan, Norway and the UK,» *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 3113-3118, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.1007>, 2019.
- [27] S. Shooshtarian, C. K. C. Lam y I. Kenawy, «Outdoor thermal comfort assessment: A review on thermal comfort research in Australia,» *Building and Environment*, vol. 177, pp. 106917, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106917>, 2020.
- [28] F. Binarti, M. D. Koerniawan, S. Triyadi, S. S. Utami y A. Matzarakis, «A review of outdoor thermal comfort indices and neutral ranges for hot-humid regions,» *Urban Climate*, vol. 31, pp. 100531, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100531>, 2020.
- [29] B. J. He, L. Ding y D. Prasad, «Outdoor thermal environment of an open space under sea breeze: A mobile experience in a coastal city of Sydney, Australia,» *Urban Climate*, vol. 31, pp. 100567, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100567>, 2020.
- [30] X. Chen, L. Gao, P. Xue, J. Du y J. Liu, «Investigation of outdoor thermal sensation

- and comfort evaluation methods in severe cold area,» *Science of the Total Environment*, vol. 749, n° 66, pp. 141520, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141520>, 2020.
- [31] L. A. Vargas Robles, M. Tovar Hurtado y G. J. Santos Victoria, «Potencial de acondicionamiento térmico en exteriores urbanos, a través del uso de especies de árboles nativos: caso de León, Guanajuato.,» de *XLIII Semana Nacional de Energía Solar 2019*. https://www.researchgate.net/publication/342797938_Potencial_de_acondicionamiento_termico_en_exteriores_urbanos_a_traves_del_uso_de_especies_de_arboles_nativos_caso_de_Leon_Guanajuato, Nuevo Vallarta, Nayarit, 2019.
- [32] F. Martín del Campo Saray, R. José Valladares Anguiano, G. Bojórquez Morales y C. García Gómez, «Estudio de habitabilidad térmica en periodo frío para espacios públicos exteriores,» *Revista de Ciencias Tecnológicas*, vol. 3, n° 3, pp. 145-172, <https://doi.org/10.37636/recit.v33145172>, 2020.
- [33] J. Song y Z. H. Wang, «Impacts of mesic and xeric urban vegetation on outdoor thermal comfort and microclimate in Phoenix, AZ,» *Building and Environment*, vol. 94, n° 2, pp. 558-568, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.10.016>, 2015.
- [34] K. Fabbri, A. Ugolini, A. Iacovella y A. P. Bianchi, «The effect of vegetation in outdoor thermal comfort in archaeological area in urban context,» *Building and Environment*, vol. 175, pp. 106816, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106816>, 2020.
- [35] A. Karimi, H. Sanaeian, H. Farhadi y S. Norouzian-Maleki, «Evaluation of the thermal indices and thermal comfort improvement by different vegetation species and materials in a medium-sized urban park,» *Energy Reports*, vol. 6, pp. 1670-1684, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.06.015>, 2020.
- [36] T. Martins, L. Adolphe y C. Barroso-Krause, «Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in tropical climate,» *Proceedings of Climate and Construction*, vol. 36, pp. 100775, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100775>, 2021.
- [37] M. Z. Targhi y S. Van Dessel, «Potential Contribution of Urban Developments to Outdoor Thermal Comfort Conditions: The Influence of Urban Geometry and Form in Worcester, Massachusetts, USA,» *Procedia Engineering*, vol. 118, pp. 1153-1161, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.457>, 2015.
- [38] N. Nasrollahi, Y. Namazi y M. Taleghani, «The effect of urban shading and canyon geometry on outdoor thermal comfort in hot climates: A case study of Ahvaz, Iran,» *Sustainable Cities and Society*, vol. 65, pp. 102638, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102638>, 2021.
- [39] J. Rincón-Martínez, K. Martínez-Torres, M. González-Trevizo y F. Fernández-Melchor, «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*, vol. 24, n° 1, pp. 1-17, <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/ojs/index.php/ingenieria/article/view/186>, 2020.
- [40] E. García, Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen [para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana], México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 2004.
- [41] V. Fuentes y A. Figueroa, Criterios de Adecuación Bioclimática en la Arquitectura, Instituto Mexicano del Seguro Social, México, 1990.
- [42] SMN-CONAGUA, «Datos climáticos registrados por la Estación Meteorológica Automática BC-02,» Servicio Meteorológico Nacional (SMN-CONAGUA), periodo 2000-2017, Ensenada, 2017.

- [43] B. Huerta, Manual de diseño pasivo para el arquitecto: un reflejo del análisis climático y bioclimático de Ensenada, Baja California, (Tesis de licenciatura no publicada) Ensenada, 2018.
- [44] International Organization for Standardization., ISO 7726:1998 (E) Ergonomics of the thermal environment – instruments for measuring physical quantities., Ginebra: Autor, 1998.
- [45] J. Rincón, Confort térmico en bioclima semi-frío: Estimación a partir de los enfoques de estudio adaptativo y predictivo, Tesis Doctoral. Ciudad de México, 2015.
- [46] International Organization for Standardization., ISO 10551:1995 (E) Ergonomics of thermal environment – assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales., Ginebra: Autor, 2002.
- [47] M. Noguchi y B. Givoni, «Outdoor comfort as a factor in sustainable town,» *Proceedings of the Second International Conference for Teachers in Architecture*, pp. Paper 3.01, Florence, Italy, 1997.
- [48] F. Nicol, Thermal Comfort: A Handbook for Field Studies Toward an Adaptive Model, London, University of East London., 1993.
- [49] D. e. a. Cardona, «Inferencia Estadística. Módulo de Regresión Lineal Simple,» Cardona, D. et al. (2013). Inferencia Estadística. Módulo de Regresión Lineal Simple, Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia [on-line]., 2013. [En línea]. Available: http://www.urosario.edu.co/Administracion/documentos/Documentos-de-Investigacion/BI_147-Web.pdf. [Último acceso: 15 Agosto 2020].
- [50] T. Bedford, “The Warmth Factor in Comfort at Work: a Physiological Study of Heating and Ventilation” in Report No. 76. HMSO, Industrial Health Research Board., 1936.
- [51] J. Rzedowski, Capítulo 3. Clima. En J, Rzedowski, Vegetación en México, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2006.
- [52] Cedar Lake Ventures, «El clima promedio en Mexicali, México,» Weather Spark, 25 mayo 2018. [En línea]. Available: <https://es.weatherspark.com/y/2211/Clima-promedio-en-Mexicali-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>. [Último acceso: 12 enero 2021].
- [53] Cedar Lake Ventures, «El clima promedio en Nogales, México,» Weather Spark, 25 mayo 2018. [En línea]. Available: <https://es.weatherspark.com/y/2842/Clima-promedio-en-Nogales-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>. [Último acceso: 12 enero 2021].
- [54] International Organization for Standardization., ISO 9920:2007 (E) Ergonomics of the thermal environment — Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble, Ginebra: Autor, 2007.
- [55] International Organization for Standardization., ISO 8996:2004 (E) Ergonomics of the thermal environment — Determination of metabolic rate, Ginebra: Autor, 2004.



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia - Texto completo de la licencia](#)