

# Una aproximación a la minería de datos para estimar indicadores de confort térmico con métodos diversos

## *An approach to data mining to estimate thermal comfort indicators from different methods of analysis*

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i15.258>

**JULIO CÉSAR RINCÓN MARTÍNEZ**

Universidad Autónoma de Baja California, México. ORCID: 0000-0002-1946-3609

Correo electrónico: julio.rincon@uabc.edu.mx

Recepción: 3 de julio de 2023. Aceptación: 12 de septiembre de 2023.

### RESUMEN

Los hallazgos del estudio del confort térmico para espacios interiores son difundidos en documentos que regularmente profundizan en la metodología aplicada y los resultados obtenidos, sin embargo, la explicación relacionada con el análisis de datos para llegar a estos, generalmente es reducida. El fenómeno del confort térmico adaptativo comúnmente es interpretado a partir de métodos estadísticos de tipo univariable que, por lo regular, se basan en la regresión lineal simple o en el método de medias por intervalos de sensación térmica; aunque también es posible encontrar estudios que utilizan el método gráfico de ANSI/ASHRAE 55. El objetivo de este documento es describir la minería de datos con la que se procesan estadísticamente los datos a partir de diversos métodos de análisis. Para ello, con base en la consulta de diferentes investigaciones relacionadas con el confort térmico se definieron los métodos más utilizados en sus etapas de tratamiento y correlación de datos, se investigó su fundamento teórico y se aplicaron a un caso hipotético. Lo anterior permitió identificar que el método de medias por intervalos de sensación térmica ofrece resultados con mayor consistencia dada la interpretación causal-fenomenológica que permite respecto a la relación entre la sen-

sación térmica percibida y las condiciones del ambiente térmico.

Palabras clave: ANSI/ASHRAE 55, confort térmico adaptativo, medias por intervalos de sensación térmica, minería de datos, regresión lineal simple.

### ABSTRACT

The study of thermal comfort phenomenon is commonly disseminated in documents focused on the applied methodology and the results obtained, however, the data analysis used is usually limited to a basic explanation. This study phenomenon is commonly understood and interpreted from univariate type statistical methods based on the Simple Linear Regression method or the Averages by Thermal Sensation Interval method; although it is also possible to find studies that use the ANSI/ASHRAE 55 method. The objective of this paper is to show a detailed procedure that allows statistical processing of data from different analysis methods. For this, the most used methods in different studies of thermal comfort are defined, their theoretical foundation is investigated and they are applied to a hypothetical case. The foregoing made it possible to identify that the Averages by Thermal Sensation Intervals method



offers results with greater consistency because it allows a causal-phenomenological interpretation regarding the relationship between the perceived thermal sensation and the thermal environment.

Keywords: adaptive thermal comfort, averages by thermal sensation intervals, ANSI/ASHRAE 55, data mining, simple linear regression.

## INTRODUCCIÓN

“Aquella condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico y es definida por evaluaciones subjetivas”, es conocida como confort térmico, de acuerdo con ANSI/ASHRAE 55 (2017); donde la base de la percepción térmica es definida por las sensaciones físicas y psicológicas generadas por los estímulos del ambiente térmico, actividad en desarrollo, experiencia y expectativa de las personas, principalmente.

Según Humphreys y Nicol (1998), el enfoque adaptativo es uno de los esquemas metodológicos desde los cuales puede ser estudiado el confort térmico, siempre que las bases en las que se sustente sean las siguientes:

- El individuo debe estudiarse en su hábitat natural, por lo que las condiciones de evaluación varían conforme al clima del sitio; por ende, los estudios se basan en datos recabados en campo;
- Se considera al sujeto de estudio como receptor activo en constante búsqueda del confort térmico, por lo que sus reacciones psicofisiológicas son determinantes para su análisis; y,
- Las condiciones de confort térmico dependen de la temperatura media exterior.

Es común que la difusión de este tipo de estudios centre su atención en la publicación de sus hallazgos a partir de la descripción precisa de la metodología empleada y la interpretación detallada de los resultados obtenidos (Buonocore *et al.*, 2020; Rincón, 2019; Jindal, 2018; Mishra y Ramgopal, 2015; González, 2012; Mayorga, 2012; Martínez, 2011; Bojórquez, 2010; Humphreys, Nicol y Raja, 2007; Hernández y Gómez, 2007; Gómez-Azpeitia *et al.*, 2007a; García-Chávez,

Ambríz y Paredes, 2005; Ambríz, 2005; Boerstra, Kurvers y Van der Linden, 2002; Bravo y González, 2001; Auliciems, 1981; Auliciems y De Dear, 1998), pero poco se profundiza sobre la minería de datos, el procedimiento y los métodos utilizados para el procesamiento y el análisis de los datos recabados en campo; más limitada aún, es la descripción proporcionada acerca de las diferentes etapas a las que fue sometida la base de datos una vez conformada: desde la identificación de datos atípicos, hasta la correlación de los datos consistentes que permitan contar con suficiente certidumbre de los resultados obtenidos. Actualmente son pocas las obras que presentan información y ejemplos vastos en esta índole, lo que permite garantizar estimaciones consistentes y de suficiente comprensión para lograr la réplica en investigaciones de similar fenómeno de estudio (Mishra, 2018; Humphreys, Nicol, y Roaf, 2015).

Por esta razón, en este documento se presentan diversas alternativas estadísticas utilizadas en la minería de datos en estudios sobre confort térmico, con el fin de que el investigador dedicado a este tipo de estudios cuente con una base sólida y confiable a partir de la cual pueda procesar los datos de campo —etapa que permite dar sentido a los datos obtenidos con la metodología aplicada y encontrar los resultados buscados—. En ese tenor, el procesamiento de datos aquí descrito se estructura en dos etapas básicas, cuyas alternativas de aplicación estadística se listan a continuación:

1. Identificación de datos atípicos.
  - a) Z-Score (Hernández *et al.*, 2014; Nie *et al.*, 1975);
  - b) Quartile (Sánchez, 2007; NIST/SEMATECH, 2012); y
  - c) Jerarquía ponderada (Rincón, 2019).
2. Correlación de los datos.
  - a) Regresión lineal simple (Cardona *et al.*, 2013; Kelmansky, 2010; Martínez, 2005; Levin y Rubin, 2004);
  - b) Medias por intervalos de sensación térmica (Gómez-Azpeitia *et al.*, 2007b); y
  - c) Método de ANSI/ASHRAE 55 (2017).

Si bien la correlación de datos en este tipo de estudios puede llevarse a cabo a partir de diferentes métodos estadísticos, en este documento únicamente se describen aquellos que cuentan con potencial de aplicación a este fenómeno, así como el método contenido en la ANSI/ASHRAE 55 (2017). Estos métodos estadísticos, de tipo univariable, según diferentes autores (Cardona *et al.*, 2013; Martínez, 2005; Alegre y Cladera, 2002), se centran en la correlación de una variable independiente (variable física del ambiente térmico registrada durante la evaluación) y una variable dependiente (voto de confort emitido por los sujetos de estudio). En este sentido, con el fin de estimar modelos genéricos de confort, el análisis de datos se desarrolla a través de las variables que mayor influencia representan en este fenómeno, ubicando en segundo plano aquellas cuyo impacto es más acotado respecto a las apreciaciones del ambiente: edad, género, nivel de arropamiento y nivel de actividad, entre otras. No obstante, si dentro de los objetivos de la investigación se plantea obtener indicadores térmicos específicos a partir de alguna de las variables antropogénicas antes listadas, a la base de datos simplemente se le tendrían que aplicar algunos filtros de manera tal que permita encontrar esos indicadores específicos.

El procedimiento aquí presentado se basa en métodos o modelos estadísticos ya establecidos y utilizados continuamente en diferentes campos del conocimiento. Sin duda, existen numerosos procedimientos para procesar estadísticamente una base de datos, sin embargo, el que aquí se presenta se adapta con mayor flexibilidad a los estudios sobre confort térmico adaptativo.

## MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE DATOS

Para obtener resultados consistentes y llevar a cabo un adecuado procesamiento de datos en estudios sobre confort térmico, el procedimiento presentado en este documento se clasifica en dos etapas: a) Identificación de datos atípicos, y b) Correlación de los datos; por lo que este apar-

tado describe de forma detallada cada una de las alternativas estadísticas con las que es posible desarrollar dichas etapas.

## IDENTIFICACIÓN DE DATOS ATÍPICOS

Esta etapa consiste en brindar un tratamiento preventivo a la base de datos con el fin de omitir los datos atípicos que pudieran afectar los resultados buscados. La preparación de la base de datos es una etapa preliminar de suma importancia a la manipulación de los datos recabados y al modelado de los resultados esperados, ya que si se omite este procedimiento, se arriesga la consistencia de los resultados obtenidos por el posible manejo y la falta de tratamiento de datos erróneos (sesgo) (CCPE, 2011). El propósito de este procedimiento es la revisión, la validación y la verificación de la consistencia de los datos recabados en campo, con el fin de lograr la validez que permita realizar un análisis preciso de la realidad de una población determinada.

Los datos atípicos, también conocidos como *outliers*, son observaciones que se desvían tanto de otras observaciones que despiertan la sospecha de que se generaron por un mecanismo diferente (Hawkins-Douglas, 1980), son aquellos valores extremos de alguna variable que difieren del comportamiento del resto de la muestra (Rodríguez, Sandoval y Pacheco, 2011; López, 2011). Según Hawkins-Douglas (1980), las consecuencias de una sola observación atípica pueden ser graves y distorsionar los resultados (inconsistencia en la precisión) o afectar la normalidad de la base de datos (correlación de los datos).

En este sentido, Bisbé (2011) menciona que los datos atípicos de una base de datos pueden ser tratados de tres formas: a) Sustitución (reemplazo por valor específico o promedio), b) Omisión (conservar los datos pero no utilizarlos para el procesamiento), y c) Eliminación (borrar el valor de los datos con el fin de que los registros sean nulificados). Para los estudios de confort térmico adaptativo se recomienda la omisión, y no la eliminación, de aquellos valores que pudieran afectar

los resultados esperados, ya que estos pudieran ser de utilidad en otro momento para alcanzar fines distintos de investigación.

Existen diversos métodos y procedimientos para dar tratamiento a los datos atípicos de una base de datos, no obstante, en este documento se describen los utilizados continuamente en las distintas áreas del conocimiento: Z-Score y Cuartil (Hernández *et al.*, 2014); adicionalmente, se presenta un método con base estadística propuesto por el autor de este documento, denominado *jerarquía ponderada*.

### Z-SCORE

De acuerdo con Hernández *et al.* (2014), el método Z-Score, también conocido como puntuación Z, es la medida que indica la dirección y el grado en que un valor individual se aleja de la media, en una categoría de unidades de desviación estándar (DS). Nie *et al.* (1975) mencionan que las puntuaciones Z son el método comúnmente utilizado para estandarizar la categoría de una variable medida en un nivel por intervalos. Su fórmula es:

$$z = \frac{X - \bar{X}}{s} \tag{1}$$

Donde:

X = Puntuación o valor a transformar.

X̄ = Media de la distribución a la que pertenece el valor a transformar.

s = Desviación estándar de la distribución a la que pertenece el valor a transformar.

z = Valor transformado en unidades de desviación estándar.

En este tenor, para que esta medida pueda ser empleada como método de identificación de datos atípicos es necesario que cada uno de los valores que conforman la distribución no exceda el intervalo de -3.0 DS a +3.0 DS (López, 2011).

A modo de ejemplo aplicativo, en la tabla 1 se concentra la variable dependiente conformada por los datos de Sensación Térmica (ST) recabados en un estudio de confort térmico, donde la escala de ST utilizada se conformó por categorías del 1 al 7 con base en los siete puntos de percepción térmica sugeridos en ANSI/ASHRAE 55 (2017).

**TABLA 1**  
Identificación de datos atípicos a partir del método Z-Score

Muestra (Categoría ST)	Z-Score (DS)	¿Es atípico? (-3 DS > Z-Score > 3 DS)
5	1.76	No atípico
4	0.79	No atípico
4	0.79	No atípico
4	0.79	No atípico
4	0.79	No atípico
4	0.79	No atípico
4	0.79	No atípico
4	0.79	No atípico
4	0.79	No atípico
3	-0.18	No atípico
3	-0.18	No atípico
3	-0.18	No atípico
3	-0.18	No atípico
3	-0.18	No atípico
3	-0.18	No atípico
3	-0.18	No atípico
3	-0.18	No atípico
3	-0.18	No atípico
2	-1.16	No atípico
2	-1.16	No atípico
1	-2.13	No atípico
1	-2.13	No atípico

La columna *Muestra* contiene las categorías de ST elegidas por los sujetos durante la evaluación, la columna *Z-Score* muestra la transformación a DS de cada uno de los valores concentrados en la columna anterior, y la columna *¿Es atípico?* define si cada valor contenido en la primer columna es o no atípico respecto a la distribución total de datos que la contiene; esto, a partir de su valor Z-Score respecto a un intervalo de -3.0 DS a +3.0 DS.

De acuerdo con este método, ninguno de los 21 votos de confort recabados en ese estudio de confort térmico (con valores de ST de 1 a 5) se clasificaría como atípico.

### CUARTIL

De acuerdo con Sánchez (2007), los cuartiles son medidas estadísticas de posición que tienen la propiedad de dividir la serie estadística en cuatro grupos de números iguales de términos; es decir, son los tres valores que dividen al conjunto de datos ordenados en cuatro porciones iguales:



tribución normal del resto de los registros; no obstante, el método de la jerarquía ponderada se basa básicamente en las categorías de ST contenidas en ANSI/ASHRAE 55 (2017) para describir la percepción térmica que los sujetos perciben de su entorno inmediato.

Si bien este método es propuesto por el autor del presente trabajo para identificar los datos atípicos en estudios sobre confort térmico, su aplicabilidad se extiende a la evaluación del confort ambiental del espacio (acústico, lumínico, hídrico, eólico, etcétera), pues este se basa específicamente en la frecuencia con la que cada categoría de confort se repite en función del total de votos recabados; en otras palabras, permite ponderar la representatividad de cada categoría de confort dentro de un total neto de votos dados. Por ende, lo anterior se rige estrictamente por la cantidad de categorías que presente la escala de evaluación según la variable ambiental estudiada: para lo térmico y lo hídrico, regularmente son siete; para lo eólico y lo acústico, cinco; y para la aceptación general del ambiente, dos. Por la naturaleza del presente trabajo, se continuará describiendo el método focalizándolo en el confort térmico, aunque su aplicación para el resto de variables ambientales es la misma, ajustándolo únicamente al total de categorías que ampara la escala de confort empleada.

En este sentido, los criterios considerados por este método para la sucesiva identificación de datos atípicos, son:

- El *significado* perceptivo que representa cada categoría subjetiva de ST para evaluar las condiciones del entorno y, no así, el valor cuantitativo que representa; y
- La *frecuencia* con la que cada categoría de ST es elegida bajo una misma, o similar, magnitud de variable física (conjunto de observaciones generadas en diferentes momentos próximos entre sí); y
- La *proporción* que cada una de las categorías de ST representa respecto al total de votos recabados.

En otras palabras, el método de jerarquía ponderada basa su criterio de identificación atípica

en el *significado*, la *frecuencia* y la *representación proporcional* de cada categoría de ST, y no en el valor cuantitativo que representa cada una de ellas.

Este método se basa en la medida estadística de la *proporción*, también conocida como frecuencia relativa, la cual, según Ruíz (2004), es una medida de resumen que consiste en el número de veces que se presenta un valor respecto al total de la muestra. Esta medida estadística cuenta con la ventaja de aplicarse en variables cualitativas, tal el caso de los votos de confort subjetivos emitidos por los sujetos en estudios sobre confort térmico. Su fórmula general es:

$$P_i = \frac{x_i}{n} \quad (3)$$

Donde:

$x_i$  = Número de observaciones de interés (número de veces que se repite un mismo valor en la muestra).

$n$  = Tamaño de la muestra (número total de observaciones).

$P_i$  = Proporción ponderada que representa el valor respecto al total de observaciones.

Para que la *proporción* pueda aplicarse como método de identificación de datos atípicos, se deben aclarar ciertos términos de aplicación:

- Los valores a emplear para describir el universo de datos en cada muestra evaluada son del 1 al 7 (categorías de ST dadas en ANSI/ASHRAE 55, 2017): De 1 = Mucho frío a 7 = Mucho calor.
- El criterio para determinar cuáles son los datos atípicos, es que la proporción que represente cada categoría sea inferior a 0.1429 (1/7 del tamaño total de la muestra), al aplicar la ecuación de la *proporción* a cada conjunto de observaciones que ha elegido una misma categoría de ST. Esto, a partir del supuesto de que, en condiciones hipotéticamente homogéneas, el mínimo de sujetos que elige cada una de las siete categorías de ST corresponde a 1/7 de la muestra estudiada.

- La identificación de datos atípicos se realiza por conjunto de evaluaciones llevadas a cabo en momentos próximos entre sí, cuya magnitud de variable física registrada es igual o similar entre sí. Esto permite identificar de forma rápida, eficiente y precisa, las observaciones atípicas surgidas en un mismo momento, turno o día, por ejemplo.
- Regresión lineal simple (Cardona *et al.*, 2013; Kelmansky, 2010; Martínez, 2005);
- Medias por intervalos de sensación térmica (Gómez-Azpeitia *et al.*, 2007b); y
- Método de ANSI/ASHRAE 55 (2017).

Con lo anterior, y con el fin de asimilar una mejor comprensión del planteamiento y los criterios aplicados con este método de identificación, se cita nuevamente el ejemplo que se ha descrito en los métodos anteriores. Así, en la tabla 3 se puede apreciar que la columna *Muestra* contiene las categorías de ST elegidas en el estudio de confort térmico y la columna *Proporción* aloja la proporción que cada una de esas categorías representa respecto al total de observaciones recabadas.

Por su parte, la columna *¿Es atípico?* define, a partir de un valor inferior a 0.1429 en la columna *Proporción*, si cada valor de la primera columna es atípico respecto a la distribución total de datos.

Con este procedimiento es posible obtener mayor consistencia en la clasificación de los valores atípicos, pues es posible determinar que las categorías de ST que solo presentan una o dos respuestas (categorías 1, 2 y 5) son atípicas respecto al total de observaciones recabadas, lo que permite realizar el procesamiento de datos solo con las observaciones de las categorías de ST que reflejan mayor frecuencia (categorías 3 y 4, ocho observaciones cada una).

## CORRELACIÓN DE DATOS

Una vez identificados y tratados los datos atípicos, se procede con la correlación de la base de datos resultante. Para llevar a cabo esta etapa de análisis de datos, se describen a continuación tres métodos: dos estadísticos de correlación univariante —utilizados con mayor frecuencia en los estudios de confort térmico— y uno contenido en ANSI/ASHRAE 55 (2017):

**TABLA 3**

Identificación de datos atípicos a partir del método de jerarquía ponderada

Muestra (Categoría ST)	Proporción ( $P_i = x_i / n$ )	¿Es atípico? ( $P_i < 1/7$ )
5	0.05	Atípico
4	0.38	No atípico
4	0.38	No atípico
4	0.38	No atípico
4	0.38	No atípico
4	0.38	No atípico
4	0.38	No atípico
4	0.38	No atípico
4	0.38	No atípico
3	0.38	No atípico
3	0.38	No atípico
3	0.38	No atípico
3	0.38	No atípico
3	0.38	No atípico
3	0.38	No atípico
3	0.38	No atípico
3	0.38	No atípico
2	0.10	Atípico
2	0.10	Atípico
1	0.10	Atípico
1	0.10	Atípico

## REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

De acuerdo con Cardona *et al.* (2013), la regresión lineal simple (RLS) permite cuantificar la relación entre una variable dependiente ( $Y$ , endógena o criterio) y una independiente ( $X$ , exógena o predictora), exponiéndola en una ecuación lineal que permite pronosticar la relación. Se trata de encontrar la línea media que sintetice la dependencia entre la variable  $Y$  y la  $X$ , con el fin de explicar la causa de la variable dependiente y prever los valores futuros de  $Y$  para valores dados en  $X$  (Martínez, 2005).

La estructura de la ecuación lineal que describe la relación entre las dos variables, según Kelmansky (2010), es la siguiente:

$$y = \alpha + \beta x + \varepsilon \quad (4)$$

Donde:

y = variable a predecir.

$\alpha + \beta x$  = parámetros desconocidos a estimar.

$\varepsilon$  = error en la predicción de los parámetros.

En este modelo, los valores de la variable dependiente Y se encuentran relacionados linealmente con la variable independiente X, más un error que atiende la variabilidad en Y que no se puede explicar con la relación lineal. Cardona *et al.* (2013) mencionan que existen medidas que permiten determinar el grado de relación entre ambas variables: el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y el coeficiente de correlación ( $r$ ).

El coeficiente de determinación es una medida estandarizada que indica, en un intervalo de 0 a 1, el grado de relación que existe entre las dos variables: 0 significa la independencia total entre las variables y 1 significa la relación perfecta entre ellas (Kelmansky, 2010; Martínez, 2005; Levin y Rubin, 2004). Con base en Kelmansky (2010), la ecuación general de la  $r^2$  puede expresarse de la siguiente manera:

$$r^2 = \frac{\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (5)$$

Donde:

$r^2$  = coeficiente de determinación.

Numerador = variación explicada.

Denominador = variación total.

Un error típico en la interpretación de  $r^2$  es la no consideración del tamaño de la muestra, las cuales suelen variar de forma inversa. Basta con considerar un número pequeño de observaciones para que  $r^2$  alcance un valor próximo a la unidad, sin que ello evidencie la existencia de una marcada relación lineal entre dos variables (Martínez, 2005).

Por su parte, el coeficiente de correlación es una medida que se usa para describir qué tan bien explica una variable a la otra (Cardona *et al.*, 2013). Este se expresa como la raíz cuadrada del coeficiente de determinación:

$$r = (b \text{ sign})\sqrt{r^2} \quad (6)$$

Donde:

r = coeficiente de correlación.

(signo de b) = relación directa (+) o inversa (-).

$r^2$  = coeficiente de determinación.

El coeficiente de correlación mide, en un intervalo de -1 a 1, la intensidad de la relación que existe entre las dos variables; en ambos casos existe una relación intensa, negativa y positiva respectivamente, conforme el valor se acerca a 0, la relación se va debilitando hasta carecer de ella (Cardona *et al.*, 2013).

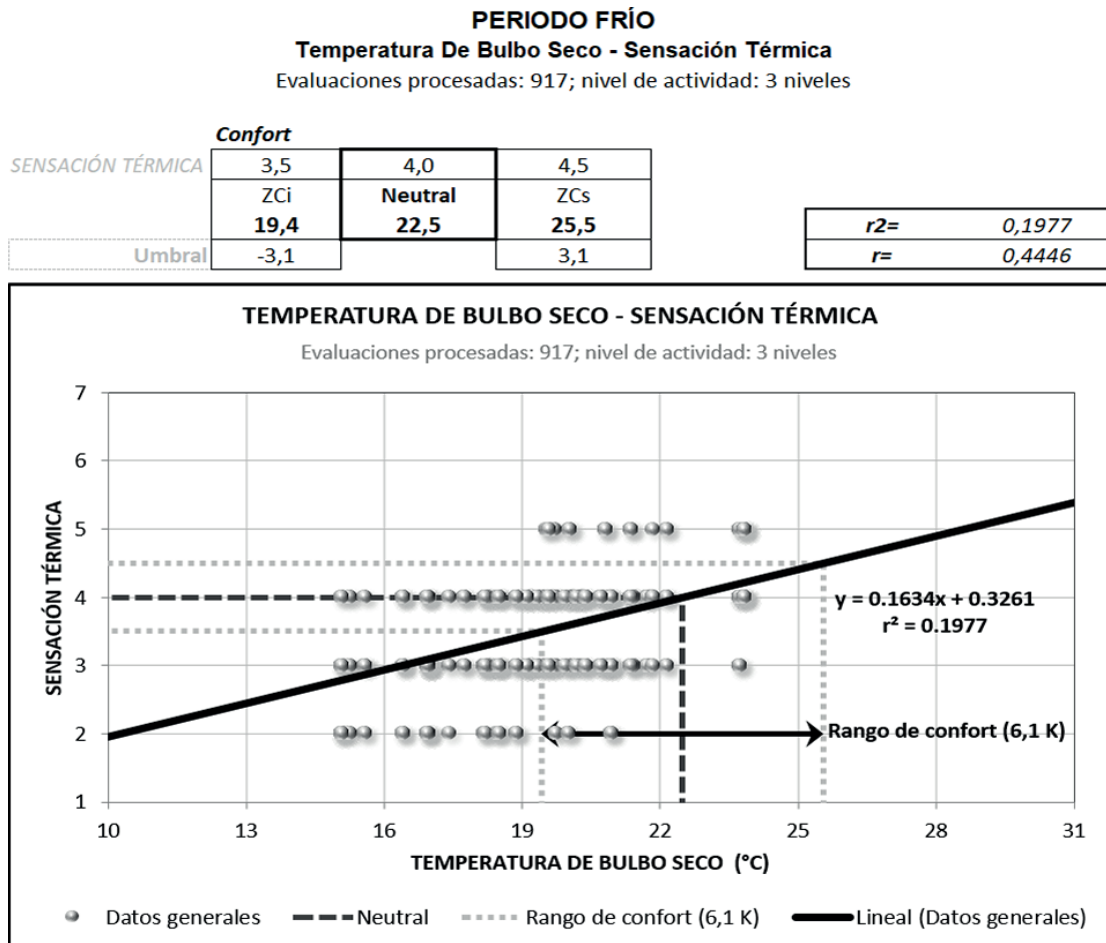
En el caso de los estudios sobre confort térmico adaptativo, el diagrama de dispersión se conforma de los pares de datos recabados en las evaluaciones de sitio: las variables independientes corresponden a las variables físicas registradas (temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad de viento) y las variables dependientes corresponden a los votos de ST dados por los sujetos de estudio. En este sentido, el diagrama de dispersión se genera a partir de los votos de ST sobre el eje Y y las magnitudes de variable física sobre el eje X.

Dado que el objetivo de los estudios sobre confort térmico no es conocer la respuesta de ST de los sujetos a partir de su exposición a determinadas condiciones físicas ambientales, sino estimar el confort térmico a partir de cada una de las variables físicas que intervienen en la percepción térmica de los sujetos, es recomendable, por un lado, despejar a X de la función lineal obtenida por la recta de regresión y, por otro, dar a Y un valor igual a 4 (categoría de ST equivalente a ni calor, ni frío) para obtener el valor neutral de la variable física analizada e, igual a 3,5 y 4,5 según González y Bravo (2003), o 3,0 y 5,0 según Fanger (1972), para estimar los límites del rango de confort (figura 1).



FIGURA 1

Ejemplo de correlación de datos a partir del método de regresión lineal simple



Fuente: Rincón *et al.* (2017).

Algunas ventajas que presenta la utilización de este método estadístico son:

- Estimación de un rango de confort, adicional a un valor de neutralidad.
- Consistencia en la correlación de cualquiera de las variables físicas registradas con la ST percibida, para estimar el valor neutral y los rangos de confort. No obstante, dicha consistencia se altera si se correlacionan las variables físicas registradas con votos de confort distintos a la ST, por ejemplo: sensación hídrica, preferencia térmica, preferencia hídrica, sensación eólica, preferencia eólica y aceptación personal.

Por su parte, las desventajas identificadas con el empleo de este método estadístico son:

- La estimación del rango de confort queda a criterio del analista y por lo general se modela equidistante al valor de neutralidad.
- El valor de la  $r^2$  resulta por debajo de 0,5, lo que, en términos de confort térmico corresponde a una correlación baja y a un alto grado de dispersión en la muestra.

#### MEDIAS POR INTERVALOS DE SENSACIÓN TÉRMICA

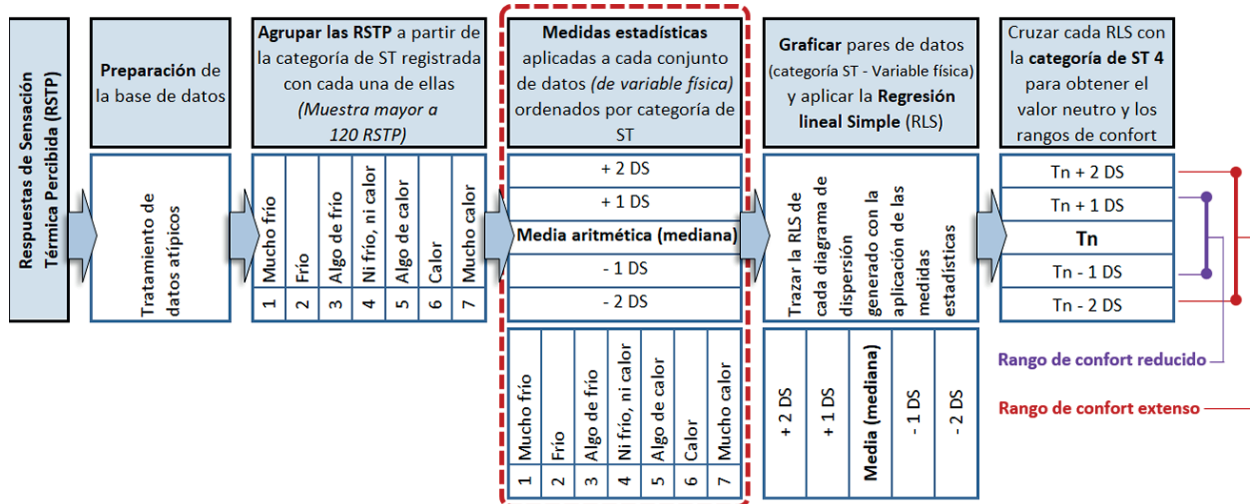
El método estadístico de medias por intervalos de sensación térmica (MIST) fue planteado por Gómez-Azpeitia *et al.* (2007b) con base en la pro-

puesta de Nicol (1993) para climas asimétricos, donde los límites del rango de confort térmico no son equidistantes a la temperatura neutra. El método consiste en utilizar la estadística descriptiva para estimar el valor de neutralidad y los rangos

de confort de la variable física analizada a partir de los votos de confort manifestados por los sujetos de estudio. En la figura 2 se puede apreciar un diagrama general del procesamiento de datos a partir de la utilización del método en mención.

FIGURA 2

Diagrama general del procesamiento de datos a partir del método MIST



Fuente: Elaboración propia con base en Bojórquez (2010).

De acuerdo con este diagrama (figura 2), el procedimiento que describe cada una de las etapas de este método, es el siguiente:

1. A partir de la base de datos conformada, agrupar las *respuestas de sensación térmica percibida* (RSTP) a partir de la categoría de ST registrada en cada una de ellas. Una RSTP es el *par de datos* conformado por un voto de confort y una magnitud de variable física. Gómez-Azpeitia *et al.* (2009) sugieren recabar un mínimo 120 RSTP por periodo de estudio a fin de lograr suficiente consistencia en el procesamiento de datos, aun cuando, de ser el caso, el diseño de la muestra haya resultado en un número inferior.
2. A partir de las magnitudes de variable física agrupadas por categoría de ST, se calcula la media aritmética, la cual, al graficarse con la categoría de ST a la que corresponde, conforman el diagrama de dispersión necesario para generar la regresión lineal simple (RLS

media) que permite estimar el valor de neutralidad (Temperatura neutra:  $T_n$ ).

3. Paso siguiente, se calcula la DS con base en las magnitudes de variable física agrupadas por categoría de ST.
4. Por cada categoría de ST, adicionar y sustraer una DS ( $\pm 1 DS$ ) a la media aritmética. Los valores obtenidos, en conjunto con la categoría de ST a la que corresponden, conforman el diagrama de dispersión que genera la regresión lineal simple (RLS) que permite estimar los límites del *rango de confort reducido* ( $\pm 1 DS$ ). Se repite el mismo procedimiento con la adición y sustracción de dos DS ( $\pm 2 DS$ ) para conformar el diagrama de dispersión que genera la RLS que permite estimar los límites del *rango de confort extenso* (RLS  $\pm 2 DS$ ) (Figura 3).

FIGURA 3

Ejemplo de correlación de datos a partir del método MIST

**PERIODO FRÍO**

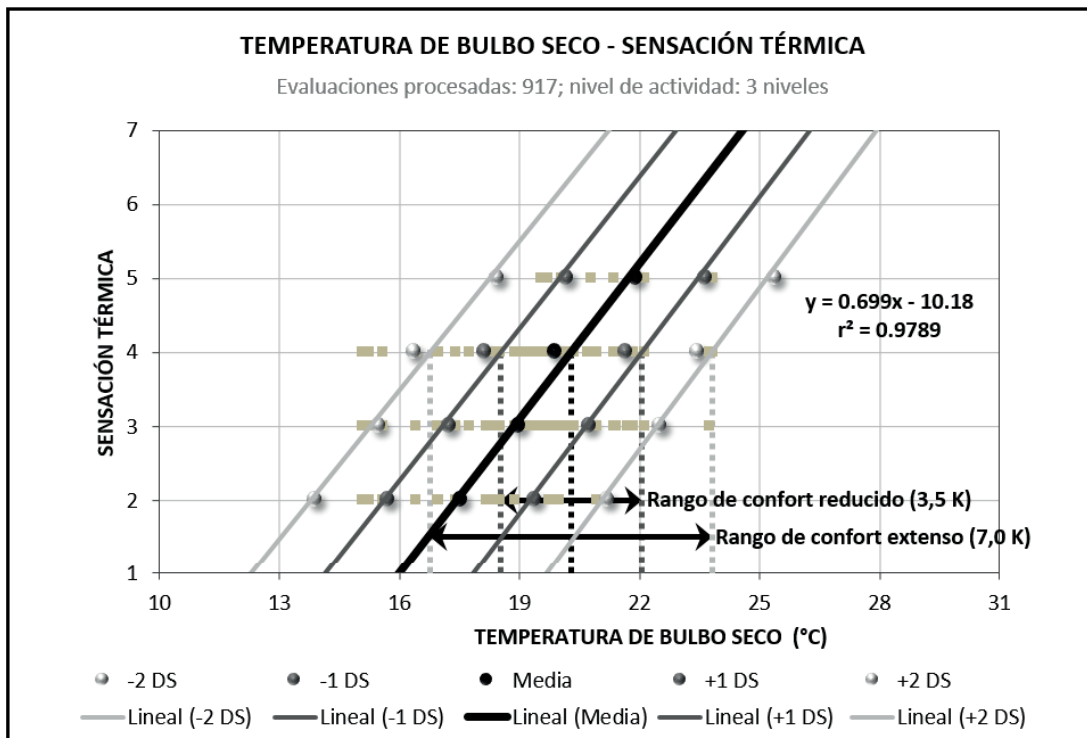
**Temperatura De Bulbo Seco - Sensación Térmica**

Evaluaciones procesadas: 917; nivel de actividad: 3 niveles

DS	ST	Escala	-2 DS	-1 DS	Media	+1 DS	+2 DS	Votos
1,7	Algo de Calor	5	18,4	20,2	21,9	23,6	25,4	50
1,8	Ni calor, Ni Frío	4	16,4	18,1	19,9	21,7	23,4	442
1,8	Algo de Frío	3	15,5	17,2	19,0	20,7	22,5	346
1,8	Frío	2	13,9	15,7	17,5	19,4	21,2	79

<b>Ecuación</b>	$y = 0,67x - 7,25$	$y = 0,68x - 8,69$	$y = 0,70x - 10,18$	$y = 0,71x - 11,73$	$y = 0,73x - 13,35$
<b>r<sup>2</sup></b>	0,9785	0,9788	0,9789	0,9788	0,9784
<b>Neutral</b>	16,8	18,5	20,3	22,0	23,8
<b>Umbral</b>	-3,5	-1,8		1,8	3,5



Fuente: Rincón *et al.* (2017).

5. Estimación del valor neutral y los rangos de confort a partir del procedimiento siguiente:

a) Valor neutral = Abscisa resultante del cruce de la RLS media con la categoría de ST número 4.

b) Límite superior del rango de confort reducido = Abscisa resultante del cruce de la RLS +1 DS con la categoría de ST número 4.

c) Límite inferior del rango de confort reducido = Abscisa resultante del

- cruce de la RLS -1 DS con la categoría de ST número 4.
- d) Límite superior del rango de confort extenso = Abscisa resultante del cruce de la RLS +2 DS con la categoría de ST número 4.
- e) Límite inferior del rango de confort extenso = Abscisa resultante del cruce de la RLS -2 DS con la categoría de ST número 4.

Según Reynaga (2011), se estima que para datos normalmente distribuidos, el rango de ffl1 DS incluye al 68.26 % de las respuestas dadas por los sujetos de estudio, el rango de ffl2 DS incluye al 95.45 % de ellas, y, el rango de ffl3 DS incluye al 99.74 %. Para datos no distribuidos normalmente este porcentaje puede variar, por lo que se recomienda obtener el mayor número de respuestas posible en los estudios de campo para lograr una distribución normal.

6. Obtención del coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y la ecuación lineal ( $y = a + b x$ ) de cada RLS generada, con el fin de validar la correlación existente entre las dos variables. De acuerdo con Bojórquez (2010), la certidumbre de este método se da a partir del valor obtenido en la  $r^2$  de la RLS media.

En este tipo de estudios es común que la muestra analizada derive de un diseño estadístico aplicado al universo objetivo, por lo que la cantidad de observaciones obtenidas representa consistentemente a este. En este tenor, Bojórquez (2010) menciona que la  $r^2$  es la que permite identificar el grado de dispersión de las respuestas de ST dadas respecto a las variables físicas registradas; por lo que, con base en Gomez-Azpeitia *et al.* (2009), Ruíz (2007), Nikolopoulou (2004), Bravo y González (2003), De Dear *et al.* (1997), Nicol *et al.* (1993), Auliciems (1981), Humphreys (1976) y Bedford (1936), se establecen los criterios siguientes para determinar el grado de relación entre las variables:

- Si ( $r^2 < 0.9$ ) la correlación es muy alta, por lo que hay certeza en la concentración de respuestas.
- Si  $0.7 \leq r^2 < 0.9$  la correlación es alta, la muestra es poco dispersa.
- Si  $0.5 \leq r^2 < 0.7$  la correlación es media, la muestra tiene una concentración moderada.
- Si  $r^2 < 0.5$  la correlación es baja, con alto grado de dispersión en la muestra.

7. Análisis fenomenológico (o circunstancial) de cada valor obtenido, a partir de los recursos gráficos y matriciales generados con este método, con el fin de visualizar y fundamentar la adaptación térmica que la muestra estudiada consigue en cada periodo de evaluación.

En el caso de distribuciones asimétricas, donde la media se carga significativamente a uno de los extremos del conjunto de datos y no refleja el punto medio de la muestra, se recomienda utilizar la mediana y, por lo tanto, adicionar o sustraer la DS a ella (Bojórquez, 2010).

De acuerdo con trabajos recientes (Rincón, 2019; González, 2012; Martínez, 2011; Bojórquez, 2010; Gómez-Azpeitia *et al.*, 2007a; Hernández y Gómez, 2007), cuyo método para correlación de datos fue el MIST, las ventajas que este presenta son:

- Ofrece mayor consistencia en resultados y mayor valor en la  $r^2$  y la  $r$ .
- Además de estimar el valor de neutralidad, es posible conocer los valores límite de dos rangos de confort:
  - a) *Reducido*. Considera al 68.26 % de las RSTP obtenidas en los estudios.
  - b) *Extenso*. Involucra al 95.45 % de los sujetos evaluados.
- Por lo general, la estimación de los rangos de confort resulta no equidistante al valor de neutralidad, adecuándose con mayor precisión a las condiciones ambientales dadas en el sitio de estudio.
- La  $r^2$  de la RLS media regularmente se aproxima a la unidad, lo que permite, según Bojórquez (2010), tener certidumbre del grado de relación entre ambas variables.

- Es posible una interpretación fenomenológica a partir de las cinco RLS obtenidas; por ejemplo, cuando el valor de la  $r^2$  es mayor en los límites inferiores de los rangos de confort, se puede interpretar mayor adaptación humana a condiciones térmicas frías (inferiores al valor neutral) que a las superiores. Adicionalmente, se puede interpretar desde el diagrama de dispersión que entre mayor aproximación se visualice entre los pares de datos graficados por categoría de ST, menor grado de adaptación, y, a mayor dispersión, mayor grado de adaptación (dispersión que deriva de la DS obtenida por categoría de ST). Lo anterior permite validar los resultados obtenidos con este método si se comparan con los obtenidos con el método de regresión lineal, donde el rango de confort (límites y amplitud) se estima equidistante al valor de neutralidad.
- El valor de neutralidad estimado con el MIST es muy próximo a la temperatura neutra ( $T_n$ ) que se obtiene con la aplicación de la ecuación lineal de Auliciems y Szokolay (1997), lo que permite validar bioclimáticamente el resultado.
- Los límites del rango de confort extenso del MIST se homologan con los límites del rango de confort obtenido con el método de regresión lineal simple.

No obstante, las desventajas que este presenta son:

- Las cinco RLS obtenidas son producto de un conjunto de datos reducido (máximo siete pares de datos, el equivalente a las siete categorías de ST), por lo que el valor de sus  $r^2$  siempre resulta próximo a la unidad, pervirtiendo la fiel consistencia de la relación entre cada par de datos obtenidos en campo.
- Las líneas de regresión no siempre caracterizan adecuadamente las regresiones lineales de las RLS  $\pm 1$  DS y/o  $\pm 2$  DS, ya que, en ocasiones, se puede observar una clara tendencia curva entre los puntos de dispersión graficados.
- Cuando en una categoría de ST las magnitudes de variable física son próximos entre sí o tienen un mismo valor (por lo general, en

las categorías de ST extremas), las líneas de regresión suelen pervertirse y alterar significativamente los resultados esperados.

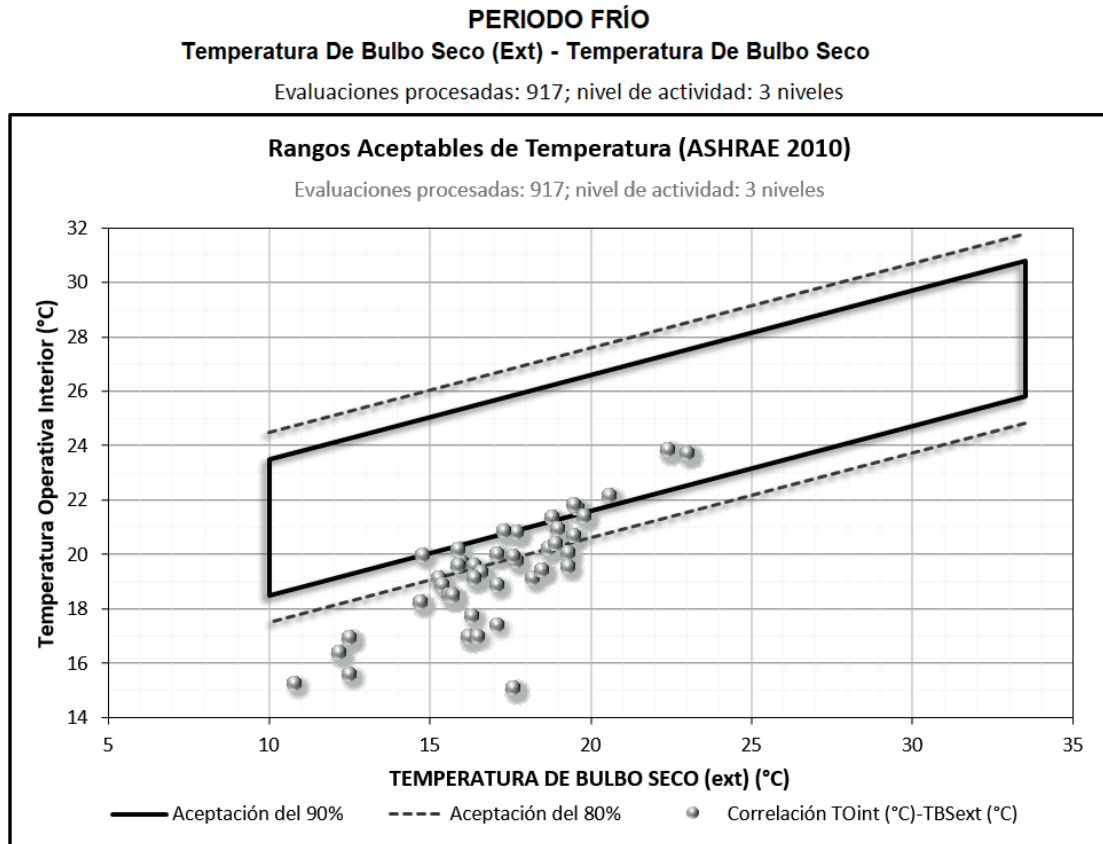
#### MÉTODO DE ANSI/ASHRAE 55

Este método solo aplica para espacios interiores naturalmente ventilados, donde los sujetos realizan actividades sedentarias (1.0 met a 1.3 met) y cuentan con posibilidad de adaptar su nivel de arropamiento y entorno inmediato (a partir del cierre o apertura de ventanas) para solventar las necesidades térmicas de su espacio (ANSI/ASHRAE 55, 2017).

Se basa en un diagrama que cuenta con una zona de confort térmico ya definida para casos de estudio que comparten las características antes mencionadas (figura 4). En él, se traza la temperatura ambiente exterior (sobre el eje de las abscisas) y la temperatura operativa interior (sobre el eje de las ordenadas) para conocer, con base en los puntos de dispersión resultantes, si los sujetos de estudio se encuentran en condiciones de confortabilidad térmica. Para ello, el diagrama permite visualizar, a partir de dos zonas de confort térmico, la temperatura permisible para espacios interiores: la primera marca las condiciones aceptables para el 80.0 % de los sujetos y, la otra, para el 90.0 % de ellos. Los umbrales que limitan a la primera zona son para aplicaciones cotidianas y deben utilizarse cuando no haya disponibilidad de información adicional; en tanto, es posible utilizar los límites de la segunda zona cuando se desea mayor precisión del confort térmico (ANSI/ASHRAE 55, 2017).

El rango de confort se especifica en  $\pm 3.5$  °C del valor neutral, para el 80.0 % de aceptación, y de  $\pm 2.5$  °C, para una aceptación del 90.0 %. Para evitar incertidumbre en los resultados obtenidos, es inválido extrapolar los límites de la temperatura permisible a áreas fuera de los límites marcados.

**FIGURA 4**  
Ejemplo de trazado de datos con el método gráfico de ANSI/ASHRAE 55 (2017)



Fuente: Elaboración propia con base en ANSI/ASHRAE55 (2017).

El diagrama considera la adaptación de la ropa de las personas en los espacios acondicionados naturalmente para relacionar el rango de confort térmico interior con el clima exterior, por lo que no es necesario estimar los valores de la ropa usada en el espacio. De igual forma, los límites de la humedad relativa y la velocidad del viento no son necesarios con el empleo de este método.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el fin de conocer los probables resultados que podrían obtenerse con cada uno de los métodos antes descritos aplicados a un caso de estudio y, con ello, identificar la efectividad con la que podrían describir al fenómeno del confort térmico, en este apartado se presentan de forma condensada los resultados obtenidos en un trabajo desa-

rollado por Rincón *et al.* (2017). En este sentido, los valores estimados con la aplicación simultánea de los tres métodos deben ser considerados únicamente como referentes a fin de identificar las particularidades que cada uno presenta.

El trabajo consistió en la estimación del confort térmico para espacios interiores ventilados naturalmente, en la ciudad de Ensenada, México, que presenta un bioclima templado seco. El estudio se llevó a cabo durante el periodo frío, en el que dan lugar temperaturas máxima promedio, media y mínima promedio de 19.2 °C, 14.2 °C y 9.2 °C, respectivamente; humedades relativas máxima promedio, media y mínima promedio de 89.5 %, 70.7 % y 46.2 %, respectivamente; y viento con velocidad promedio de 2.8 m/s proveniente del E y del NE. La muestra de estudio se conformó de 917 jóvenes adultos de entre 15 y 24 años de edad, residentes de la ciudad, con actividad física pre-

dominantemente sedentaria (1.2 met, de acuerdo con ISO 8996, 2004), resistencia térmica por arropamiento moderada (1.0 clo aproximadamente, con base en ANSI/ASHRAE 55, 2017) y con actitud activa para solventar sus necesidades térmicas de forma adaptativa.

Con el método de RLS (figura 1) se obtuvo una temperatura de confort de 22.5 °C y un rango de confort de 19.4 °C a 25.5 °C, equivalente a una amplitud equidistante de  $\pm 3,1$  K. La temperatura de confort corresponde con el valor de la abscisa que resulta de intersectar la línea de regresión con el valor 4 del eje de las ordenadas (categoría de sensación térmica *ni calor, ni frío*); mientras que el rango de confort resulta del cruce de la línea de regresión con los valores 3,5 y 4,5 del eje de las ordenadas (González y Bravo, 2003) –en este caso, el rango de confort quedó a criterio del analista–. De acuerdo con Bojórquez (2010), el grado de correlación es bajo, dado que el valor de la  $r^2$  resultó en 0.1977, con una pendiente de la recta igual a 0.1634. Para llegar a estos resultados, primeramente se omitieron los registros atípicos de la base de datos a partir del método de jerarquía ponderada, por lo que de 983 RSTP recabadas, solo se procesaron 917 RSTP.

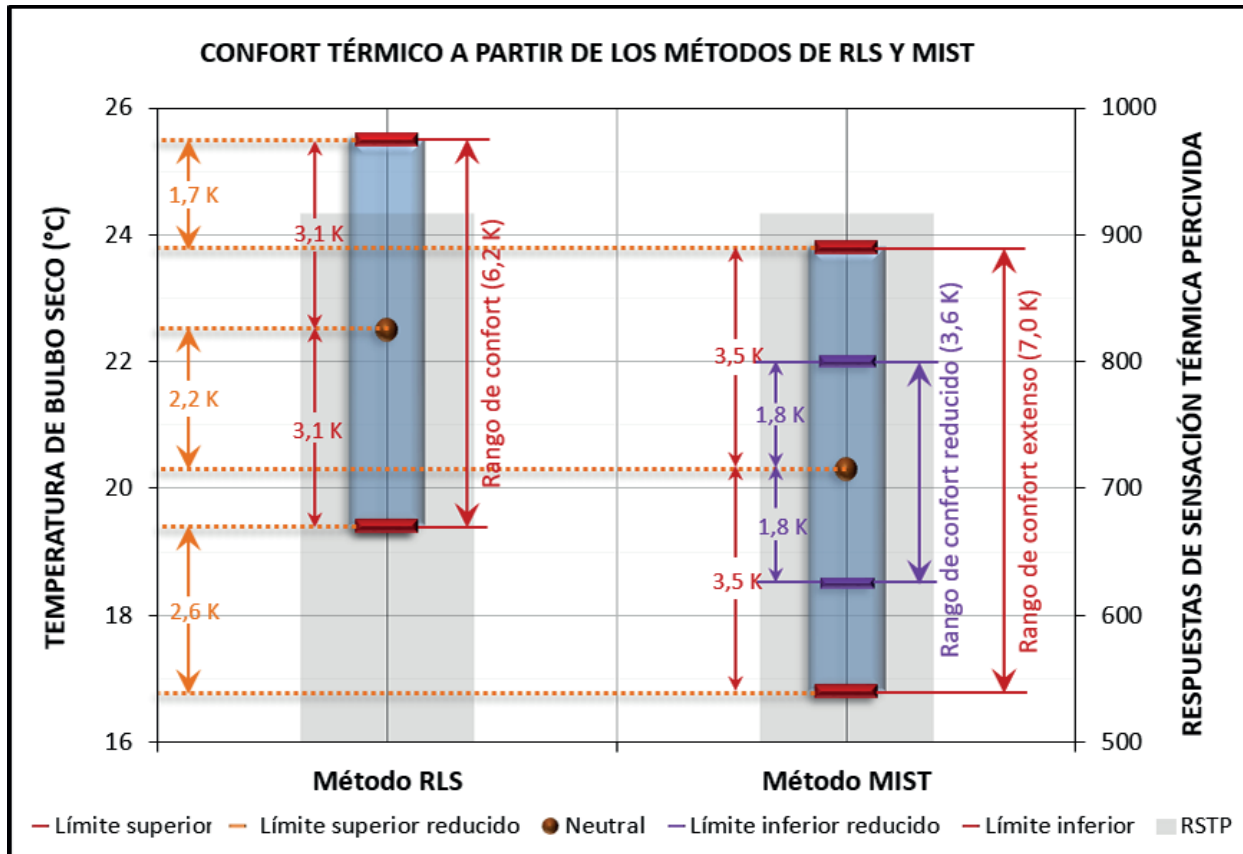
En el caso del método de MIST (figura 3), la temperatura neutra se estimó en 20.3 °C; paralelamente, el rango de confort reducido resultó de 18.5 °C a 22.0 °C, con una amplitud equidistante a la temperatura neutra de  $\pm 1.8$  K, asimismo, el rango de confort extenso se definió de 16.8 °C a 23.8 °C, con una amplitud simétrica de  $\pm 3,5$  K. Si bien numérica y gráficamente se pueden apreciar unas amplitudes de confort equidistantes a la  $T_n$ , este método cuenta con la bondad de presentarlas asimétricas si las condiciones ambientales del caso de estudio cuentan con esa característica, denotando el grado de adaptación que los sujetos de estudio podrían presentar en función de su inclinación por temperaturas superiores o inferiores a la  $T_n$ , según sea el caso. Para el estudio presentado, la adaptación psicofisiológica de los sujetos es equivalente tanto a temperaturas por debajo de la neutra como a temperaturas por encima de esta, característica natural en la adapta-

ción humana si se presta atención en las condiciones higrotérmicas que presenta el periodo de estudio y, particularmente, en el historial térmico de los sujetos al habitar una ciudad en la que nueve de los doce meses presenta condiciones de frío (Huerta, 2018). De acuerdo con Bojórquez (2010), el grado de correlación es muy alto, dado que el valor de la  $r^2$  resultó en 0.9789, con una pendiente de la recta igual a 0.6990, valores por encima de los obtenidos con el método de RLS. Para llegar a estos resultados, al inicio del procesamiento de datos se omitieron los registros atípicos de la base de datos a partir del método de jerarquía ponderada, por lo que de 983 RSTP recabadas, solo se procesaron 917 RSTP.

De acuerdo con la figura 5, que presenta referencialmente los valores neutros y los rangos de confort obtenidos a partir de la aplicación simultánea de los métodos de RLS y de MIST, es posible identificar de una forma precisa la magnitud térmica en la que inicia y concluye cada rango de confort y, por ende, la amplitud que cada uno de ellos presenta. A este respecto, y tomando en consideración las condiciones climáticas de Ensenada durante el periodo de estudio (descritas al inicio de este apartado), se puede advertir la mayor consistencia que presentan las estimaciones obtenidas con el método de MIST al presentar un valor de neutralidad y un rango de confort térmico en correspondencia fenomenológica con las condiciones higrotérmicas del periodo y el sitio de estudio, particularmente las que se relacionan con el límite inferior del rango de confort y la  $T_n$ , que se encuentran 2.5 K, en promedio, por debajo de las estimaciones obtenidas con el método de RLS. Otro aspecto a destacar, en correspondencia con las condiciones térmicas anuales de Ensenada (predominantemente frío) y, por ende, con las del periodo previo y posterior al de estudio (historial térmico y expectativa, respectivamente), es la amplitud del rango de confort térmico que se pronuncia más con las estimaciones obtenidas a partir del método de MIST (7.0 K) que con las obtenidas con el método de RLS (6.2 K).

FIGURA 5

Comparativa del confort térmico estimado con los métodos de RLS y MIST para el mismo caso de estudio



Por último, con el método de ANSI/ASHRAE 55 (2017) únicamente es posible determinar si, con base en las condiciones térmicas de evaluación, los sujetos se encuentran en confort térmico según las zonas establecidas en el diagrama ofrecido por el método. Con ello, en la figura 4 es posible observar que alrededor del 75.0 % de los sujetos evaluados se encontraban fuera de la zona de confort térmico marcada como aceptable para el 80.0 % de la muestra estudiada, y alrededor del 55.0 % fuera de la zona definida como aceptable para el 90.0 % de la muestra estudiada. Los puntos concentrados a la izquierda del diagrama corresponden con los sujetos evaluados en horario matutino (momento frío de un día normalizado), mientras que los concentrados a la derecha del diagrama corresponden con los evaluados en horario vespertino (momento cálido de un día normalizado), razón por la que el diagrama de dispersión se presenta fragmentado en ambos extremos.

En este sentido, referenciando los resultados obtenidos con este método con relación a los obtenidos con los métodos de RLS y MIST, podemos identificar que, en tanto con el método gráfico ANSI/ASHRAE 55 (2017) entre el 25.0 % y el 45.0 % de los sujetos evaluados encontró confort térmico en las condiciones en las que se le evaluó, con el método de RLS ese porcentaje se incrementó al 55.0 %, y con el método de MIST, al 75.0 %, lo que evidencia, en principio, la eficacia con la que cada uno de los métodos funciona según condiciones ambientales presentes durante la evaluación y, por ende, la posibilidad de pronosticar posibles escenarios térmicos precisos que respondan a las condiciones específicas del caso de estudio o algunos otros que presenten una base físico-ambiental equivalente.



## CONCLUSIONES

Los métodos estadísticos univariantes de *regresión lineal simple* y de *medias por intervalos de sensación térmica* permiten correlacionar cualquier voto de confort recabado en campo con cualquier variable física del entorno térmico registrada simultáneamente; esto es, con ambos métodos, la sensación y la preferencia (térmica, higríca y eólica, así como la aceptación personal del espacio y el estado de ánimo derivado de las condiciones ambientales) obtenidas como parte de la percepción subjetiva del ambiente térmico, pueden ser correlacionadas individual e indistintamente con cada una de las variables físicas registradas durante la evaluación (temperatura de bulbo seco, temperatura de globo negro, humedad relativa, velocidad de viento y cualquier variable del entorno térmico registrada), con el fin de encontrar el grado de asociación y dependencia entre ambas variables y explicar el comportamiento de una respecto a la otra. No obstante, los votos de confort que presentan mayor grado de correlación con las variables físicas registradas son la sensación y la preferencia térmicas con las temperaturas de globo negro y bulbo seco, respectivamente.

La diferencia principal entre el MIST y la regresión lineal simple es que antes de obtener la línea de regresión que caracteriza a la muestra estudiada, las RSTP que coinciden en categoría de ST se agrupan por estratos con el fin de calcular la media aritmética y la desviación estándar de las magnitudes de variable física registrada. Así, la regresión lineal no se hace a partir de todos los pares de datos de la muestra, sino solo con los valores medios (y la adición y sustracción de una y dos DS a esta) de cada categoría de ST involucrada en el análisis.

Por su parte, con el método de ANSI/ASHRAE 55 (2017) únicamente es posible correlacionar dos variables físicas del entorno térmico registradas (una interior y otra exterior), debido a que el rango de confort térmico ya se encuentra definido para casos específicos de estudio: espacios interiores naturalmente ventilados, donde los sujetos realizan actividades sedentarias (1.0 met

a 1.3 met) y cuentan con posibilidad de adaptar su nivel de arropamiento y entorno inmediato (a partir del cierre o apertura de ventanas) para solventar sus necesidades térmicas.

A partir de diferentes estudios especializados en confort térmico (Rincón, 2019; Rincón *et al.*, 2017; González, 2012; Martínez, 2011; Bojórquez, 2010; Gómez-Azpeitia *et al.*, 2009; Gómez-Azpeitia *et al.*, 2007a, 2007b; Hernández y Gómez, 2007, Ruíz, 2007) es posible identificar que el método MIST ofrece resultados con mayor consistencia respecto a la sensación térmica y el comportamiento personal de los sujetos, dada su correspondencia causal y fenomenológica con las condiciones higrotérmicas presentadas durante la evaluación. Esta consistencia se observa en los valores estadísticos obtenidos en el coeficiente de determinación y la pendiente de la recta, en cada caso de aplicación. Además, con el MIST es posible estimar el valor de neutralidad y dos rangos de confort (extenso y reducido) de la variable física analizada que, no necesariamente, resultan equidistantes al valor de neutralidad (Bojórquez, 2010).

En este sentido, el método de RLS también permite estimar el valor de neutralidad de la variable analizada y un rango de confort, sin embargo, este último queda a criterio del analista y por lo general se modela equidistante al valor de neutralidad. Por su parte, con el método de ANSI/ASHRAE 55 (2017) no es posible estimar el confort térmico a partir de datos recabados en campo, no así, es posible conocer si los sujetos de estudio se encuentran, o no, en condiciones de confort térmico, por ende, los resultados obtenidos se acotan a las zonas de confort ya establecidas para los casos específicos en los que pudieran aplicar, además de que, de igual manera, considera rangos de confort equidistantes al valor térmico neutral.

Adicionalmente, se observó que los valores estimados con el método MIST resultan consistentes independientemente del voto de confort y la variable física correlacionados, mientras que con los otros métodos, la consistencia de los resultados se limita únicamente a la correlación de

lo térmico. Otra ventaja observada con la utilización del MIST es que los límites de los rangos de confort, además de no ser necesariamente equidistantes al valor de neutralidad, se ajustan periódicamente con base en la aclimatación que los individuos van adoptando a lo largo del año. Esto probablemente se deba al efecto fenomenológico que es posible interpretar con este método, al estimar los rangos de confort con la adición y la sustracción de desviaciones estándar que consideran la representatividad de las diferentes manifestaciones de adaptación ambiental que presentan los sujetos frente a las condiciones cambiantes del entorno térmico.

Para finalizar, este documento permite un acercamiento a la minería de datos utilizada por los investigadores interesados en el estudio del fenómeno del confort térmico, pues presenta la base teórico-práctica de los métodos comúnmente utilizados en el procesamiento de datos en estos estudios, desde el tratamiento de los datos atípicos, hasta la correlación de las variables, a fin de contar con un panorama amplio respecto a las bondades y limitantes que cada uno presenta y poder decidir de forma consciente sobre el uso de cada uno de acuerdo con el alcance y los objetivos de la investigación.

## REFERENCIAS

- Alegre, J. y Cladera, M. (2002). *Introducción a la estadística descriptiva para economistas*. España: Universitat de les Illes Balears.
- Ambríz, J. (2005). La temperatura afecta la productividad. *Investigación y desarrollo ID*. <http://www.invdes.com.mx/>
- ANSI/ASHRAE 55 (2017). *Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.
- Auliciems, A. (1981). Towards a psycho-physiological model of thermal perception. *International Journal Biometeorology*, 25: 109-122. <https://doi.org/10.1007/BF02184458>
- Auliciems, A. y De Dear, R. (1998). Thermal adaptation and variable indoor climate control. En: Auliciems, A. (ed.). *Human Bioclimatology. Advances in Bioclimatology* (5). Berlin: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-80419-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-80419-9_3)
- Auliciems, A. y Szokolay, S. (1997). Thermal comfort. *Notes of Passive and Low Energy Architecture International*, note 3: 112-177. [https://doi.org/10.1243/PIME\\_CONF\\_1967\\_182\\_147\\_02](https://doi.org/10.1243/PIME_CONF_1967_182_147_02)
- Bedford, T. (1936). The warmth factor in comfort at work: A physiological study of heating and ventilation. *Report No. 76*. HMSO. EE. UU.: Industrial Health Research Board. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19362702015>
- Bisbé, A. (2011). Tratamiento de valores atípicos continuos en Excel 2010. *Amby.Net: Business Intelligence con SQL Server y más*. <http://amby.net/2011/12/09/tratamiento-de-valores-atipicos-continuos-en-excel-2010/>
- Boerstra, A., Kurvers, S. y Van der Linden, A. (2002). Thermal comfort in real live buildings: Proposal for a new dutch guideline. En: Levin, H. (ed.). *Proceedings of the 9<sup>th</sup> international conference on indoor air*, 4: 629-634. <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB7514.pdf>
- Bojórquez, G. (2010). *Confort térmico en exteriores: Actividades en espacios recreativos, en clima cálido seco extremo* (tesis de doctorado en Arquitectura, Universidad de Colima, México). [https://sistemas.ucol.mx/tesis\\_posgrado/resumen1717.htm](https://sistemas.ucol.mx/tesis_posgrado/resumen1717.htm)
- Bravo, G. y González, E. (2001). Confort térmico en el trópico: Hacia un estándar en viviendas naturalmente ventiladas. *Información Tecnológica*, 12(5): 169-174. <https://books.google.com.mx/books?id=WPLrWIW7CJAC&pg=PP2>
- (2003). Confort térmico en el trópico húmedo: Experiencias de campo en viviendas naturalmente ventiladas. *Ambiente Construido (Revista da Antac)*, 3(2): 47-55. <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3450>
- Buonocore, C., De Vecchib, R., Scalcoc, V. y Lamberts, R. (2020). Thermal preference and comfort assessment in air-conditioned and naturally-ventilated university classrooms under hot and humid conditions in Brazil. *Energy and Building*, 211: 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109783>
- Cardona, D., González, J., Rivera, M. y Cárdenas, E. (2013). *Inferencia estadística. Módulo de regresión lineal simple*. Colombia: Universidad del Rosario. [https://repository.urosario.edu.co/flexpaper/handle/10336/10447/BI\\_147-Web.pdf](https://repository.urosario.edu.co/flexpaper/handle/10336/10447/BI_147-Web.pdf)

- CCPE (2011). *Toolkit de encuestas de salud reproductiva*. Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades. Limpieza y preparación de datos. <http://www.cdc.gov/Spanish/EncuestasSR/AnalisisE/aedatos.html>
- De Dear, R. y Brager, G. (1998). Developing an adaptive model of thermal comfort and preference (RP-884). *ASHRAE Transactions*, 104(1). <https://escholarship.org/content/qt4qq2p9c6/qt4qq2p9c6.pdf>
- Fanger, O. (1972). *Thermal comfort*. Nueva York: McGraw-Hill.
- García-Chávez, J., Ambríz, J. y Paredes, H. (2005). Determinación del umbral de las condiciones de confort higrotérmico y su relación con el movimiento del aire. *Memorias COTEDI 2005*, Distrito Federal, México, 23-27 mayo 2005, pp. 215-220.
- Gómez-Azpeitia, G., Bojórquez, G., Ruíz, P., Romero, R., Ochoa, J., Pérez, M., Reséndiz, O. y Llamas, A. (2009). Comfort temperatures inside low-cost housings of six warm climate cities in Mexico. *PLEA2009 - 26th Conference on passive and low energy architecture*. Quebec: Les Press de l'Université Laval.
- Gómez-Azpeitia, G., Ruíz, R., Bojórquez, G. y Romero R. (2007a). *Confort térmico y ahorro de energía en la vivienda económica en México, regiones de clima cálido seco y húmedo*. México: CONAFOVI.
- (2007b). *Monitoreo de condiciones de confort térmico: Reporte técnico (Producto 3)*. México: CONAFOVI. 2004-01-20.
- González, E. y Bravo, G. (2003). Sobre el confort térmico: Temperaturas neutras en el trópico. En Rodríguez, M. (comp.). *Estudios de arquitectura bioclimática*. Anuario 2003, vol. V. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- González, F. (2012). *Zona de confort higrotérmico para adultos jóvenes de la ciudad de México* (tesis de maestría, sin publicar, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional, México). Hawkins-Douglas, M. (1980). *Identification of outliers*, pp. 128-135. Londres: Chapman and Hall. [https://openlibrary.org/books/OL3869458M/Identification\\_of\\_outliers](https://openlibrary.org/books/OL3869458M/Identification_of_outliers)
- Hernández, G. y Gómez, A. (2007). La temperatura ambiental y su vinculación con el aprovechamiento escolar. *Palapa. Revista de Investigaciones Científicas en Arquitectura*, 2(2): 21-30. <https://www.redalyc.org/pdf/948/94820204.pdf>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta. ed.). México: McGraw-Hill.
- Huerta, Y. (2018). *Manual de diseño pasivo para el arquitecto: Un reflejo del análisis climático y bioclimático de Ensenada, Baja California* (tesis sin publicar). Universidad Autónoma de Baja California, México. [https://catalogocimarron.uabc.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=232390&shelfbrowse\\_itemnumber=590732](https://catalogocimarron.uabc.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=232390&shelfbrowse_itemnumber=590732)
- Humphreys, M. (1976). Field studies of thermal comfort compared and applied. *Building Services Engineer*, 44: 5-27. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(76\)90104-6](https://doi.org/10.1016/0003-6870(76)90104-6)
- Humphreys, M. y Nicol, F. (1998). Understanding the adaptive approach to thermal comfort. *ASHRAE Transactions, Technical Bulletin*, 104(1): 991-1004. [https://www.researchgate.net/publication/279888246\\_Understanding\\_the\\_adaptive\\_approach\\_to\\_thermal\\_comfort](https://www.researchgate.net/publication/279888246_Understanding_the_adaptive_approach_to_thermal_comfort)
- Humphreys, M., Nicol, F. y Raja, I. (2007). Field studies of indoor thermal comfort and the progress of the adaptive approach. *Advances in Building Energy Research*, 1(1): 55-88. <https://doi.org/10.1080/17512549.2007.9687269>
- Humphreys, M., Nicol, F. y Roaf, S. (2015). *Adaptive thermal comfort: Foundations and analysis*. Londres: Publisher Earthscan. <https://doi.org/10.4324/9781315765815>
- ISO 8996 (2004). *Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate*. Ginebra: International Organization for Standardization.
- Jindal, A. (2018). Thermal comfort study in naturally ventilated school classrooms in composite climate of India. *Building and Environment*, 142: 34-46. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.051>
- Kelmansky, D. (2010). Regresión lineal simple. En Author (ed.). *Estadística (Q)*. Argentina: Universidad de Buenos Aires. [http://www.dm.uba.ar/materias/estadistica\\_Q/2010/2/C014\\_%20Regresion%20Lineal%20Simple%20.pdf](http://www.dm.uba.ar/materias/estadistica_Q/2010/2/C014_%20Regresion%20Lineal%20Simple%20.pdf)
- Levin, R. y Rubin, D. (2004). *Estadística para administración y economía* (7ma. ed.). México: Pearson Educación. <https://profefily.com/wp-content/uploads/2017/12/Estad%3%ADstica-para-administraci%3%B3n-y-economia-Richard-I.-Levin.pdf>

- López, A. (2011). *Análisis previo y exploratorio de datos*. España: Universidad de Sevilla. <http://personal.us.es/analopez/aed.pdf>
- Martínez, E. (2005). Errores frecuentes en el coeficiente de determinación lineal. *Anuario Jurídico y Económico Escorialense*, 38 (1): 315-332 <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1143023>
- Martínez, K. (2011). *Temperatura y rangos de confort térmico en oficinas climatizadas artificialmente en un clima cálido subhúmedo* (tesis de maestría, sin publicar, Universidad de Colima, México).
- Mayorga, J. (2012). *Arquitectura y confort térmico: Teoría, cálculo y ejercicios*. México: Plaza y Valdés Editores.
- Mishra, A. (2018). *Statistical analysis of data from thermal comfort field studies*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14484.60801>
- Mishra, A. y Ramgopal, M. (2015). A thermal comfort field study of naturally ventilated classrooms in Kharagpur, India. *Building and Environment*, 92: 396-406. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.05.024>
- Nicol, F. (1993). *Thermal comfort: A handbook for field studies toward an adaptive model*. Londres: University of East London.
- Nicol, F., Jamy, G., Sykes, O., Humphreys, M., Roaf, I. y Hancock, M. (1993). *A survey of thermal comfort in Pakistan toward new indoor temperature standards*. Reino Unido: Oxford Brookes University.
- Nie, N., Bent, D. y Hull, C. (1975). *Statistical Package for the Social Sciences* (2da. ed.). Nueva York: McGraw-Hill.
- Nikolopoulou, M. (2004). *Designing open space in the urban environment: A bioclimatic approach*. Attiki: Center for Renewable Energy Sources.
- NIST/SEMATECH (2012). What are outliers in the data? *Engineering Statistics Handbook (e-Handbook of Statistical Methods)*. <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/prc/section1/prc16.htm>
- Reynaga, J. (2011). *Relación entre el promedio y la desviación estándar con la curva normal*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rincón, J. (2019). *Confort térmico en interiores: Estimación con los enfoques adaptativo y predictivo*. México: Universidad Autónoma de Baja California. Recuperado de <https://libreriaabc.com/products/confort-termico-en-interiores-estimacion-con-los-enfoques-adaptativo-y-predictivo-fragmento-de-julio-cesar-rincon-martinez-confort-termico-en-bioclima-semi-frio-estimacion-a-partir-de-los-enfoques-de-estudio-adaptativo-y-predictivo>
- Rincón, J., Bojórquez, G., Fuentes, V. y Calderón, C. (2017). Adaptive Thermal Comfort in Learning Spaces: A Study of the Cold Period in Ensenada, Baja California. *Journal of Natural Resources and Development*, 07: 96-107. <https://doi.org/10.5027/jnrd.v7io.12>
- Rodríguez, J., Sandoval, R. y Pacheco, G. (2011). *Detección de outliers aplicando algoritmo de optimización basado en el apareo de abejas*. Argentina: Universidad Nacional de Salta.
- Ruíz, D. (2004). *Manual de Estadística*. España: Universidad Pablo de Olavide. <https://www.eumed.net/cursecon/libreria/drm/24.pdf>
- Ruíz, R. (2007). *Estándar local de confort térmico para la ciudad de Colima* (tesis de maestría, Universidad de Colima, México). [https://sistemas.ucol.mx/tesis\\_posgrado/resumen1873.htm](https://sistemas.ucol.mx/tesis_posgrado/resumen1873.htm)
- Sánchez, G. (2007). *La estadística aplicada al análisis económico*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.economia.unam.mx/profesor/barajas/estadis/parte1.pdf>