



## Confort térmico en salas de espera de hospital en clima cálido húmedo

### Thermal comfort in hospital wards in the hot and humid climate

González-Cetz Maella

Universidad Autónoma de Yucatán (UADY)

Facultad de Arquitectura

Correo: [maella.gonzalez@correo.uady.mx](mailto:maella.gonzalez@correo.uady.mx)

<https://orcid.org/0000-0003-0909-0113>

Ancona-Martínez Ligia del Rosario

Universidad Autónoma de Yucatán (UADY)

Facultad de Arquitectura

Correo: [amarti@correo.uady.mx](mailto:amarti@correo.uady.mx)

<https://orcid.org/0000-0003-4402-9182>

Canto-Cetina Raúl Ernesto

Universidad Autónoma de Yucatán (UADY)

Facultad de Arquitectura

Correo: [cetina@correo.uady.mx](mailto:cetina@correo.uady.mx)

<https://orcid.org/0000-0001-6230-7946>

#### Resumen

Existe escasa evidencia de estudios de confort térmico realizados en salas de espera de hospitales ventiladas naturalmente en climas cálido húmedos, a pesar de que su implementación podría apoyar el ahorro de energía y contar con los beneficios de la ventilación natural. El estudio se realizó siguiendo la metodología de ASHRAE 55 2017, en la sala de espera ventilada naturalmente de un hospital público de Yucatán. En el estudio se recolectaron un total de 1043 cuestionarios de 1046 participantes adultos sanos, en los periodos climáticos característicos del clima cálido subhúmedo de Yucatán (cálido seco, cálido húmedo y fresco). El objetivo del estudio fue determinar la temperatura neutral, los rangos de confort térmico con probabilidades de satisfacción de 80 % y 90 %, así como la temperatura preferida y la aceptabilidad del ambiente térmico en salas de espera de un hospital ventiladas naturalmente. Las temperaturas neutras se obtuvieron mediante el método de Griffiths y la regresión logística multinomial, representando 26.89 °C y 26.52 °C, respectivamente; el rango de confort térmico obtenido fue de 21.74 °C a 29.87 °C. La temperatura preferida obtenida fue de 21.79 °C, con el método de regresión logística multinomial. A pesar de que las temperaturas de globo ( $T_g$ ) encontradas durante el estudio fueron en promedio de 27.94 °C y la humedad relativa fue superior a 60 % los participantes aceptaron el ambiente térmico, por lo que  $T_g$  resultó un buen predictor para la aceptabilidad. Es deseable obtener una mayor información de los parámetros térmicos en salas de espera en los diferentes turnos de atención, así como de los visitantes en relación con su satisfacción y con ella orientar el diseño hacia la eficiencia energética y al confort de los usuarios.

**Descriptores:** Confort térmico, enfoque adaptativo, ventilación natural, hospitales, clima cálido húmedo.

#### Abstract

There is scant evidence on thermal comfort studies carried out in hospital wards with natural ventilation in hot humid climates in the country, despite the fact that with its implementation, energy savings and all the benefits of natural ventilation could be achieved. The study was carried out according to ASHRAE Standard 55 2017 methodology in the naturally ventilated room of a public hospital in the Yucatán. In the study a total of 1043 questionnaires were collected from 1046 participants, healthy adults, over characteristic periods (dry, humid and fresh). The aim of the study was to determine the neutral temperature, for a comfort range between 80 % and 90 % of the visitor's acceptability. In addition, to obtain the preferred temperature, and analyze if visitors agree with the thermal environment in the waiting room at the hospital with natural ventilation. Neutral temperatures were obtained by Griffiths' method and through multinomial logistic regression being 26.89 °C and 26.52 °C, respectively. The comfort range found is between 21.74 °C and 29.87 °C. The obtained preferred temperature was about 21.79 °C using multinomial logistic regression. Although the globe temperatures ( $T_g$ ) were found on average at 27.94 °C and the relative humidity was higher than 60 %, participants accepted that thermal environment, in this case globe temperature ( $T_g$ ) became a good predictor for acceptability. It would be desirable to obtain more information on the thermal parameters in waiting rooms, in different shifts, as well as on the user's satisfaction of the thermal environment, in order to increase energy efficiency and user's comfort.

**Keywords:** Thermal comfort, adaptive approach, natural ventilation, hospitals, hot and humid climate.

## INTRODUCCIÓN

### CONFORT TÉRMICO EN HOSPITALES

En México es una práctica común que familiares o amigos acompañen a un paciente cuando este acude a una unidad médica, especialmente en hospitales públicos que se caracterizan por tener una excesiva demanda y una deficiente calidad de los servicios (Ortega & Aguilar, 2003). Existen reportes de casos en donde un solo enfermo puede llegar acompañado por ocho o más familiares a los servicios de urgencias; y en ocasiones, se pueden reunir cerca de 40 familiares fuera del hospital, entre hermanos, cónyuges e hijos (Lutz, 2020). No obstante, cabe destacar que debido a la pandemia de COVID-19, estas prácticas se han visto alteradas.

El tiempo promedio que un acompañante o visitante permanece en la *sala de espera de un hospital* (SEH) es de 79 minutos (Maldonado *et al.*, 2002), sin embargo, el tiempo reportado por los usuarios va desde los 20 minutos hasta las 4 horas y media (Ortega & Estrada, 2005). En el ambiente interior de una SEH, la falta de ventilación es una molestia expuesta recurrentemente por los visitantes (Ortega & Estrada, 2008) a diferencia de los trabajadores del hospital quienes cuentan con la posibilidad de regular la temperatura de su ambiente al entrar y salir de zonas acondicionadas térmicamente para uso exclusivo del personal sanitario (Bokel *et al.*, 2019).

Aunque el principal motivo que los visitantes tienen para permanecer en una SEH no sea mejorar su propio nivel de confort ambiental es importante determinar cuáles son los parámetros de confort térmico en las SEH, no solo para proveer de información útil a los diseñadores de dichos espacios, sino porque esa variable impacta tanto la productividad del personal médico como el bienestar y la salud de sus usuarios (Linares & Díaz, 2008; Cedeño, *et al.*, 2018; Sattayakorn, *et al.*, 2017).

En México se han realizado diferentes estudios relacionados con el confort térmico, principalmente en viviendas, oficinas y escuelas (Jauregui & Tejada, 2001; Gómez *et al.*, 2005; Gómez & Ruiz, 2007; García, 2009; Bojórquez, 2010; Martínez, 2011; Ruiz, 2011; Gómez & Martínez, 2012; González & Gómez, 2018); sin embargo, no se tiene evidencia de estudios de confort térmico realizados en hospitales. En otros países el estudio de confort térmico en hospitales ha sido frecuente (Cheong & Chong, 2001; Khodakarami & Nasrollahi, 2012), a pesar de ello la revisión realizada por Conceição *et al.* (2020), determinó que se requieren más estudios de confort térmico en hospitales, ya que es importante dotar de un buen ambiente térmico a los usuarios.

Los estudios de confort térmico en hospitales evaluaron prioritariamente el confort térmico de los traba-

jadores de la salud y los pacientes (Smith *et al.*, 1977; Beradu & Leoni, 1993; Khodakarami & Knight, 2007; Mui *et al.*, 2008; Yau & Chew, 2009; Del Ferraro *et al.*, 2015; Tartarino *et al.*, 2018; Mora & Meteyer, 2018; Fabbrì & Gaspari, 2019) y en menor medida el confort térmico de los acompañantes o visitantes (Azizpour *et al.*, 2012a; Conceição *et al.*, 2020).

### ESTUDIOS DE CONFORT TÉRMICO REALIZADOS EN HOSPITALES EN CLIMA CÁLIDO HÚMEDO

En el clima cálido húmedo, los estudios de confort térmico en hospitales (Azizpour *et al.*, 2012b; Azizpour *et al.*, 2013; Yau & Chew, 2013; Sattayakorn *et al.*, 2017; Khalid *et al.*, 2018), muestran que los rangos de confort encontrados sobrepasan lo establecido en los estándares, por lo que resulta viable la eficiencia energética por medio de la reducción de energía consumida mediante medidas de efectividad y conservación (WHO and Health Care Without Harm, 2008).

En el estudio realizado por Yau & Chew en 2009 participaron un total de 114 respondientes de 4 hospitales en Malasia, se calculó un valor para una temperatura neutral de 26.4 °C y un rango de confort entre 25.3 °C y 28.2 °C. En 2012b, Azizpour *et al.* condujo un estudio en cinco zonas de un centro médico de Malasia y se contó con la participación de 110 miembros del personal médico, el modelo de confort térmico generado encontró una temperatura neutral de 26.8 °C, que fue superior a los 25 °C alcanzados a través de un modelo calculado por el método propuesto por Fanger (1970). En 2013, Azizpour *et al.*, reclutaron para un nuevo estudio a 188 participantes del personal médico y visitantes, excluyendo a los pacientes debido al impacto de sus enfermedades en su estado de salud y por ende en su percepción de su propio confort térmico. En esa ocasión el estudio incluyó diez zonas del centro médico, y se calculó una temperatura neutral de 23.4 °C y un rango de confort entre 21.2 °C y 25.5 °C.

En el estudio de Sattayakorn *et al.*, realizado durante 2017 en dos hospitales de Bangkok, en Tailandia, el estudio incluyó una muestra de 451 pacientes, 331 visitantes y 146 participantes del personal médico, al estratificar la muestra determinaron que el rango de temperatura aceptable en visitantes se encuentra entre 22 °C y 27.1 °C y la temperatura de confort es de 25.1 °C, debido a los hallazgos, propusieron mantener entre 50 % y 70 % de la humedad relativa y la temperatura entre 22 °C y 27 °C para beneficiar a los visitantes y propiciar el ahorro de energía.

El estudio de Khalid *et al.*, en 2018 conducido en tres hospitales privados de Kuala Lumpur, Malasia, participaron 305 pacientes y 84 participantes obteniendo un

conjunto de 389 respuestas. La temperatura operativa promedio, estimada mediante el método de Griffiths (1990) fue de 25.3 °C en pacientes y 25.5 °C en visitantes, similar a lo obtenido por Sattayakorn en 2017; al emplear el método de regresión lineal encontraron que la temperatura de confort fue de 28.8 °C para los pacientes y de 28.9 °C para los visitantes. Cabe aclarar que las temperaturas promedio exteriores durante el tiempo de la medición fueron de 28.3 °C ± 1 °C y la humedad relativa de 75 % ± 6 %.

A pesar de los datos obtenidos por estas revisiones en países con climas similares, es probable que pudieran diferir a los obtenidos en el clima cálido húmedo de México debido a las características arquitectónicas e infraestructura de los edificios, ya que la mayoría de los hospitales en los estudios realizados en el continente asiático contaban con sistemas de aire acondicionado central; así como a las diferencias culturales y a las expectativas que tendrían los usuarios de los edificios públicos dedicados a la salud en cada país, por lo tanto, es recomendable obtener los datos que describan cada situación particular (Sattayakorn *et al.*, 2017). Cabe destacar, que para promover el ahorro energético, algunas SEH, especialmente de hospitales públicos localizados en regiones de México con un clima cálido húmedo se encuentran abiertas hacia el exterior (o hacia patios y jardines a modo de terrazas con ventilación natural), mientras que las áreas de atención médica se encuentran por lo general equipadas con un sistema de aire acondicionado.

## OBJETIVO

El objetivo del estudio fue calcular el valor de la temperatura neutral ( $T_n$ ), los rangos de confort térmico con probabilidades de satisfacción de 80 % y 90 %, el valor de la temperatura preferida ( $T_p$ ) y el nivel de aceptabilidad térmica (AT). A partir de los datos obtenidos sobre los parámetros ambientales y de los votos en las escalas de Confort Térmico reportados por los acompañantes o visitantes de los pacientes en *la sala de espera de un hospital ventilada naturalmente* (SEH-VN).



Figura 1. a) Hospital público en donde se realizó el estudio, Mérida, Yucatán. Google Maps, 2019; b) Área de espera en donde se llevaron a cabo las mediciones. Raúl Canto, 2017

## METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### LUGAR DEL ESTUDIO

El estudio se condujo en la ciudad de Mérida, en el estado de Yucatán, México. Ubicada en las coordenadas 20°59'00" N, 89°38'00" O y con una altitud media de 9 m sobre el nivel del mar. Su clima se clasifica como cálido subhúmedo (INEGI, 2016) o como tropical de sabana, con el código Aw en la clasificación climática de Köppen-Geiger (Peel *et al.*, 2007). Cuenta con tres períodos climáticos representativos: cálido seco (abril-mayo), cálido húmedo (agosto-octubre) y fresco (diciembre-febrero) con períodos de transición entre ellos (Canto, 2010). La temperatura promedio anual es de 26 °C, con una temperatura media máxima de 36 °C y una media mínima de 16 °C. La precipitación media estatal es de 1100 mm anuales con una marcada temporada de lluvias (junio-octubre), (INEGI, 2016).

La recolección de datos se realizó en una *Sala de Espera de Hospital Ventilada Naturalmente* (SEH-VN) de un hospital público catalogado como unidad médica familiar, concretamente en la sala de espera general con visitantes o acompañantes de usuarios del servicio médico (Figura 1a). Esta SEH-VN aunque cuenta con ventiladores de techo, se caracteriza por depender principalmente de la ventilación natural para proporcionar confort térmico a los usuarios, ya que posee una fachada abierta hacia el sur que da hacia un patio y está rodeada de árboles de gran tamaño (Figura 1b). Adicionalmente, cabe señalar que los ventiladores estaban prendidos durante la recolección de los datos. En Yucatán el uso del ventilador es considerado indispensable para mejorar la sensación térmica de los usuarios.

### EL ESTUDIO DE CAMPO

El estudio se realizó durante los meses más representativos de cada periodo climático; en abril de 2017 (cálido seco), agosto de 2017 (cálido húmedo) y enero de 2018 (período fresco). Durante esos meses, se realizaron 12 sesiones de recolección de datos en un horario entre las

9:00 y las 14:00 horas. En cada sesión se recolectaron los datos sobre el ambiente térmico de los participantes mediante un cuestionario y las variables meteorológicas en la SEH-VN mediante estaciones climáticas.

El cuestionario se llenó con la información proporcionada por cada participante, registrada por un equipo de recolección de datos integrado por 10 personas coordinadas por un responsable del estudio que monitoreó en todo el momento la estandarización de la recolección de datos previamente ensayada en un estudio piloto.

Antes de la recolección cada estación climática fue estabilizada durante 15 minutos y se verificó que los participantes seleccionados estuvieran sentados por más de 50 minutos para mantener una tasa metabólica constante. Cabe destacar que los participantes esperaron más de una hora en promedio en la SEH-VN y no abandonan su asiento debido al número reducido de sillas disponibles.

CUESTIONARIOS Y ESCALAS

El cuestionario se basó en el instrumento de Bojórquez (2010), así como en las normas ISO 10551 (2011) y ASHRAE 55 (2017). La información registrada en los cuestionarios incluyó:

- a) Datos demográficos, características fisiológicas y de arropamiento de los participantes.
- b) Datos sobre el ambiente térmico reportado por los participantes.
- c) Variables meteorológicas registradas por las estaciones de medición.

La información relacionada con el ambiente térmico se registró utilizando las siguientes *Escalas de Confort Térmico*:

- a) Escala de sensación térmica.
- b) Escala de preferencia térmica y
- c) Escala de aceptabilidad térmica (Tabla 1).

MEDICIONES FÍSICAS

Se utilizaron dos estaciones climáticas HD32.1 Deltha Ohm, calibradas y certificadas para la medir el ambiente interior de acuerdo con la norma ISO 7730 (2005) e ISO 7726 (1998). Las variables meteorológicas recolectadas fueron: Temperatura de globo ( $T_g$ ), temperatura de bulbo seco ( $T_a$ ), humedad relativa (HR) y velocidad del aire ( $V_a$ ); (Tabla 2). Esta información se registró concretamente cuando los participantes contestaban la sección referente a la percepción térmica en cada cuestionario. Para minimizar la interferencia a los sensores cada estación climática se ubicó a 50 cm de distancia a un costado del participante y del recolector de datos.

CARACTERÍSTICAS DE LOS PARTICIPANTES

Formaron parte del estudio, un total de 1046 participantes durante los tres periodos climáticos, de los cuales 627 (59.97 %) fueron mujeres y 419 (40.06 %) fueron hombres. Las mujeres contaron con una edad promedio de 39 años (DS = 14.63), una estatura promedio de 1.54 m (DS = 0.72) y un peso promedio de 66.10 kg (DS = 13.04). Los hombres contaron con una edad promedio de 36.64 años (DS = 14.35), estatura promedio de 1.66 m (DS = 0.07) y un peso promedio de 78.17 kg (DS = 14).

Tabla 1. Escalas de confort térmico

Valor de la escala	Descripción de la escala		
	Sensación térmica	Preferencia térmica	Aceptabilidad térmica
-3	Mucho frío	Mucho más fresco	
-2	Frío	Más fresco	
-1	Algo de frío	Un poco más fresco	
0	Ni calor ni frío	Sin cambio	Aceptable
1	Algo de calor	Un poco más de calor	Inaceptable
2	Calor	Con más calor	
3	Mucho calor	Mucho más calor	

Tabla 2. Detalles de los instrumentos empleados en la medición

Descripción	Modelo	Parámetro	Rango de sensibilidad	Medida de incertidumbre
Sensor de temperatura de Globo 150 mm de acuerdo con ISO 7243, ISO 7726. Sensor tipo Pt 100	TP3275	Temperatura de Globo	-30 °C.... +120 °C	Clase 1/3 DIN
Sensor de bulbo húmedo para ventilación natural. Tipo de sensor Pt 100	HP3201	Temperatura de bulbo húmedo, índice WBGT	+4 °C....+80 °C	Clase A
Humedad relativa y sensor de temperatura combinada. Tipo de sensor: Película delgada Pt 100 para temperatura, sensor para humedad relativa	HP3207	Humedad Relativa, temperatura combinada	Temperatura -30 °C....+100 °C Humedad relativa 5 %RH÷98 %RH	Temperatura clase 1/3 DIN Humedad relativa ±2.5 %
Sensor omnidireccional de cable caliente NTC 10 kohm	AP3203	Velocidad del aire	0.05÷5 m/s	±0.02 m/s (0.05÷1 m/s) ±0.1 m/s (1÷5 m/s)

El arropamiento de los participantes se clasificó por observación directa en los siguientes tipos de ropa:

- a) Muy ligera
- b) Ligera de arriba o abajo
- c) Normal
- d) Abrigada

El índice de indumento (clo) fue calculado teniendo en cuenta la clasificación del arropamiento y se estimó en valores desde 0.57 hasta 0.61 clo durante los periodos cálidos y de 0.74 clo durante el periodo fresco.

### RESULTADOS

#### MEDICIONES DEL AMBIENTE TÉRMICO

Durante los meses más representativos de los periodos climáticos en la región (abril, agosto y enero), se realizaron 12 sesiones de recolección de datos. A continuación se presentan las mediciones de los principales parámetros ambientales durante los tres periodos (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros ambientales de los periodos climáticos durante el estudio

Periodos climáticos	Parámetros ambientales			
	T <sub>a</sub> (°C)	T <sub>g</sub> (°C)	HR (%)	V <sub>a</sub> (m/s)
Media [DE]	Media [DE]	Media [DE]	Media [DE]	Media [DE]
Cálido seco	28.21 [1.39]	28.22 [1.29]	58.16 [7.99]	0.27 [0.29]
Cálido húmedo	31.04 [1.40]	31.19 [1.24]	61.90 [5.56]	0.31 [0.32]
Fresco	24.47 [2.17]	24.84 [2.29]	61.91 [12.1]	0.17 [0.19]
Todos los periodos	27.75 [3.22]	27.94 [3.13]	60.66 [9.32]	0.25 [0.27]

#### VOTOS DE SENSACIÓN TÉRMICA (VST)

Para conocer la sensación térmica de cada participante en la SEH-VN se solicitó contestar a la pregunta: ¿Cómo te sientes en este momento? Eligiendo después entre las opciones dadas en una escala de 7 puntos (Tabla 1) cada participante pudo señalar cuál fue su sensación térmica en el momento de la medición. Los VST reflejaron una mayor concentración de votos entre los valores -1 y 1, aunque la mayor parte de los votos se concentra en valor 0 y la tendencia general es hacia las sensaciones con las etiquetas: *calor* y de *mucho calor* (Figura 2a). La media de los VST fue de 0.523 (DE=1.37).

#### VOTOS DE PREFERENCIA TÉRMICA (VPT)

La preferencia térmica se obtuvo mediante la pregunta: ¿Cómo preferiría usted estar o sentirse en este momento? Al seleccionar una respuesta de la escala de 7 puntos (Tabla 1) los participantes concentraron sus votos en la etiqueta: *sin cambio*. Sin embargo existe una tendencia de los VPT hacia las sensaciones con las eti-

quetas: *fresco, más fresco y mucho más fresco*; concentradas en los valores entre -1 y -3 de la escala (Figura 2b). El promedio de VPT fue de -0.96 (DE = 1.15).

VOTOS DE ACEPTABILIDAD TÉRMICA (VAT)

La medición de la aceptabilidad térmica se obtuvo a través de la siguiente pregunta de puntuación dicotómica: ¿Cómo considera la sensación térmica en este momento? Los participantes manifestaron sus VAT eligiendo entre las etiquetas: *aceptable* o *inaceptable* (Tabla 1). La mayoría de los participantes declararon aceptar el ambiente térmico (Figura 2c). Se observó que de un total de 1046 personas en la SEH-VN, 860 (82.22 %) consideraron la sensación térmica aceptable, mientras que 186 (17.78 %) consideraron inaceptable.

TEMPERATURA NEUTRAL OBTENIDA POR EL MÉTODO DE GRIFFITHS

Se calculó la temperatura neutral por medio del método de Griffiths (Griffiths, 1990; Nicol, *et al.*, 2012) mediante la ecuación:

$$T_n = T_g - \left( \frac{VST}{\alpha} \right) \tag{1}$$

Donde:

- $T_n$  = temperatura neutral
- $T_g$  = temperatura de globo
- VST = promedio de los votos de sensación térmica
- $\alpha$  = valor asignado a la pendiente de Griffiths, cuyo coeficiente fue de 0.50 de acuerdo con lo empleado en estudios similares (Khalid *et al.*, 2018).

El valor de  $T_n$  para la SEH-VN fue de 26.89 °C. Se empleó la temperatura de globo, ya que no se presentó un continuo incremento de la radiación de onda corta durante la recolección de datos (Rijal, 2013; Lui *et al.*, 2022).

TEMPERATURA NEUTRAL Y RANGOS DE CONFORT TÉRMICO OBTENIDOS POR EL MÉTODO DE REGRESIÓN LOGÍSTICA MULTINOMIAL

El modelo probabilístico utilizado para obtener el valor de  $T_n$  y los rangos de confort térmico fue la regresión logística multinomial, el modelo relacionó los VST utilizando como variable predictiva el valor de  $T_g$ . Como se muestra en la Tabla 4 se encontraron los siguientes coeficientes:

Tabla 4. Modelo logístico multinomial para el cálculo de  $T_n$  y rangos de confort térmico

Coeficientes	Valor estimado	Error estándar	Razón de probabilidades
$\alpha-2$	-10.329		
$\beta-2$	0.526	0.010	1.257
$\alpha-1$	-14.031		
$\beta-1$	0.718	0.011	1.344
$\alpha 0$	-22.068		
$\beta 0$	1.07	0.012	1.489
$\alpha 1$	-32.185		
$\beta 1$	1.398	0.010	1.604
$\alpha 2$	-41.421		
$\beta 2$	1.695	0.010	1.690
$\alpha 3$	-50.729		
$\beta 3$	1.999	0.013	1.761
Razón de verosimilitud $\chi^2$			699.419*
Pseudo $R^2$			0.197

n=1043; \*p= < .05, intervalos de confianza de 95 %

Para calcular las probabilidades a partir de los coeficientes del modelo se utilizó la siguiente fórmula:

$$P(VST) = \frac{e^{\alpha + \beta T_g}}{1 + \varepsilon} \tag{2}$$

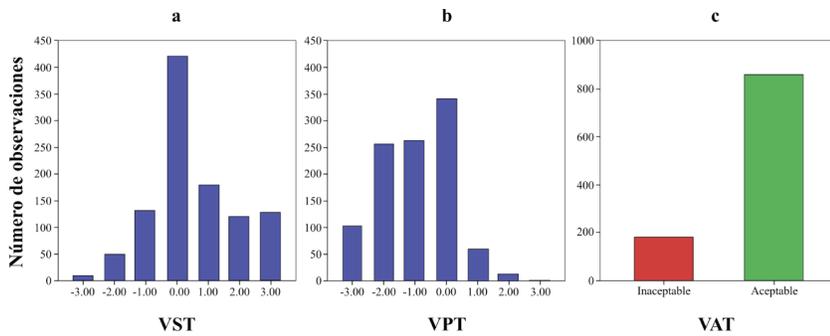


Figura 2. a) Distribución de los Votos de Sensación Térmica (VST), b) Distribución de los Votos de Preferencia Térmica (VPT), c) Distribución de los Votos de Aceptabilidad Térmica (VAT)

Donde:

$$\varepsilon = e^{-10.329 + 0.526T_g} + e^{-14.031 + 0.718T_g} + e^{-22.68 + 1.070T_g} + e^{-32.185 + 1.40T_g} + e^{-41.421 + 1.695T_g} + e^{-50.729 + 1.999T_g}$$

Posteriormente se calculó la probabilidad para cada categoría de los VST:

$$P(VST = -2) = \frac{e^{-10.329 + 0.526T_g}}{1 + \varepsilon} \tag{3}$$

$$P(VST = -1) = \frac{e^{-14.031 + 0.718T_g}}{1 + \varepsilon} \tag{4}$$

$$P(VST = 0) = \frac{e^{-22.068 + 1.070T_g}}{1 + \varepsilon} \tag{5}$$

$$P(VST = 1) = \frac{e^{-32.185 + 1.398T_g}}{1 + \varepsilon} \tag{6}$$

$$P(VST = 2) = \frac{e^{-41.421 + 1.695T_g}}{1 + \varepsilon} \tag{7}$$

$$P(VST = 3) = \frac{e^{-50.729 + 1.999T_g}}{1 + \varepsilon} \tag{8}$$

$$P(VST = -3) = 1 - (P(x = -2) + P(x = -1) + P(x = 0) + P(x = 1) + P(x = 2) + P(x = 3)) \tag{9}$$

La gráfica del modelo (Figura 3) se presenta continuación:

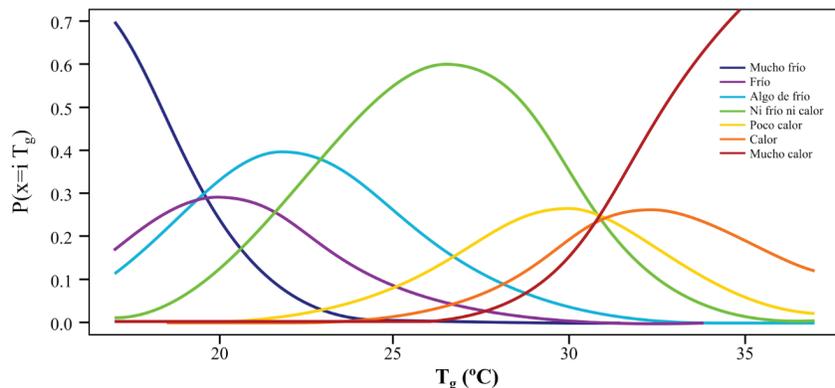


Figura 3. Gráfica de probabilidades por cada categoría en la escala de 7 puntos de VST (codificado: -3 = mucho frío, -2 = frío, -1 = algo de frío, 0 = ni frío ni calor, 1 = poco calor, 2 = calor, 3 = mucho calor)

Para obtener el valor de  $T_n$ , que indicaría que los participantes tienen una sensación térmica neutral en la SEH-VN se despejó la fórmula, cuando los VST fueron iguales a cero; el valor de  $T_n$  obtenido a partir de este método fue de 26.52 °C. Del mismo modo para obtener el rango de confort térmico se procedió a despejar la fórmula cuando los VST fueron iguales a -1 y a 1; el rango de confort térmico dentro del cual los participantes sienten una sensación térmica agradable en la SEH-VN fue de 21.74 °C a 29.87 °C. Para un 80 % de probabilidad de confort térmico el rango fue de 23.16 °C a 28.71 °C y para un 90 % de probabilidad fue de 25.22 °C a 27.06 °C. Gráficamente, podemos representar tanto los límites del rango de confort como el valor de  $T_n$  señalando el sitio en la curva donde se alcanza el punto más alto en cada categoría (Figura 4).

TEMPERATURA PREFERIDA OBTENIDA POR EL MÉTODO DE REGRESIÓN LOGÍSTICA MULTINOMIAL

Para obtener la temperatura preferida ( $T_p$ ) el modelo probabilístico utilizado fue la regresión logística multinomial, el modelo relacionó los VPT utilizando como variable predictiva el valor de  $T_g$ . Como se muestra en la Tabla 5 se encontraron los siguientes coeficientes.

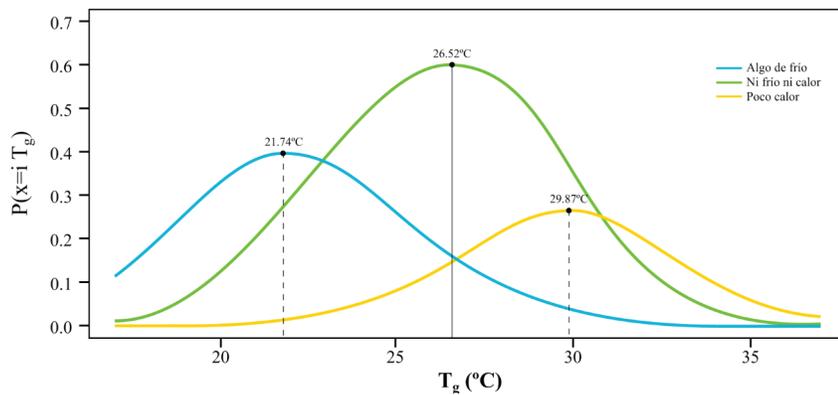


Figura 4. Límites del rango de confort térmico y valor de T<sub>n</sub> calculados a partir de los VST (codificado: -1= algo de frío, 0= ni frío ni calor, 1= poco calor)

Tabla 5. Modelo logístico multinomial para el cálculo de T<sub>p</sub>

Coefficientes	Valor estimado	Error estándar	Razón de probabilidades
α-2	7.446		
β-2	-0.218	0.011	0.804
α-1	11.406		
β-1	-0.354	0.010	0.702
α0	20.536		
β0	-0.677	0.012	0.508
α1	22.669		
β1	-0.830	0.010	0.436
α2	22.489		
β2	-0.884	0.008	0.413
α3	10.576		
β3	-0.523	0.008	0.593
Razón de verosimilitud χ <sup>2</sup>			381.918*
Pseudo R <sup>2</sup>			0.121

n=1043; \*p= < .05, intervalos de confianza de 95 %

Para calcular las probabilidades a partir de los coeficientes del modelo se utilizó la siguiente fórmula:

$$P(VPT) = \frac{e^{\alpha + \beta T_g}}{1 + \varepsilon} \tag{10}$$

Donde:

$$\varepsilon = e^{7.446 - 0.218T_g} + e^{-11.406 - 0.354T_g} + e^{20.536 - 0.677T_g} + e^{-22.669 - 0.830T_g} + e^{22.489 - 0.884T_g} + e^{10.576 - 0.523T_g}$$

Para obtener el valor de T<sub>p</sub> se procedió al despeje de la fórmula cuando los VPT fueron iguales a cero. Este valor indicaría la temperatura preferida de los participantes en la SEH-VN.

$$P(VPT = 0) = \frac{e^{20.536 - 0.677 T_g}}{1 + \varepsilon} \tag{11}$$

El valor de T<sub>p</sub> obtenido a partir de este método fue de 21.79 °C. Gráficamente, podemos representar el valor de T<sub>p</sub> señalando el sitio en la curva donde se alcanza el punto más alto en la categoría con la etiqueta 0= sin cambio (Figura 5).

#### ACEPTABILIDAD TÉRMICA

A través de un modelo de regresión logística que relaciona los VAT con T<sub>g</sub> (Tabla 6) se calculó la probabilidad de que un participante en la SEH-VN considere el clima aceptable a una temperatura dada, es decir, su nivel de aceptabilidad térmica (AT).

A partir del valor de T<sub>g</sub> se buscó una AT con una probabilidad de 80 %:

$$P(AT | T_g) = \frac{e^{11.913 - 0.358 T_g}}{1 + e^{11.913 - 0.358 T_g}} \tag{12}$$

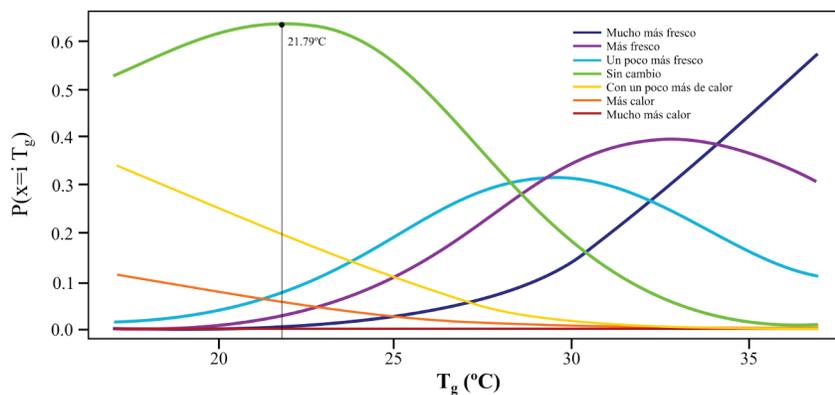


Figura 5. Valor de  $T_p$  calculado a partir de los VPT obtenidos con la escala de 7 puntos (codificado: -3= mucho más fresco, -2= más fresco, -1= un poco más fresco, 0= sin cambio, 1= con un poco más de calor, 2= más calor, 3= mucho más calor)

Tabla 6. Modelo de regresión logística para el cálculo de AT

Coefficientes	Valor estimado	Error estándar	Razón de probabilidades
$\alpha-2$	11.912		
$\beta-2$	-0.358	0.034	1.234

n=1043;  $p < .01$ , intervalos de confianza de 95 %

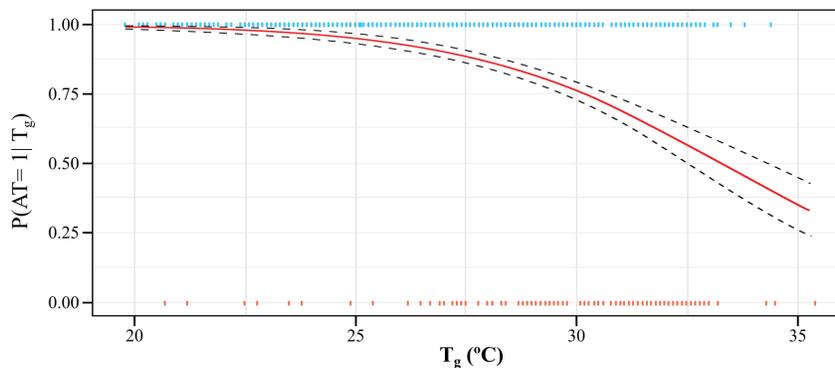


Figura 6. Modelo de regresión logística para la aceptabilidad térmica (AT) con intervalos de confianza de 95 %

$$0.8 = \frac{e^{11.913 - 0.358T_g}}{1 + e^{11.913 - 0.358T_g}} \text{ con solución } T_g = 29.38 \text{ }^\circ\text{C} \quad (13)$$

Tomando en cuenta lo anterior, el valor de  $T_g$  para tener una aceptación personal con una probabilidad de 80 % fue de 29.38 °C. Como se observa en la gráfica del modelo (Figura 6), cuando  $T_g$  asciende, hay menor probabilidad de que la persona considere el clima aceptable, por lo tanto las temperaturas inferiores a 29.38 °C tendrán probabilidades mayores.

## DISCUSIÓN

### COMPARACIÓN CON ESTUDIOS PREVIOS

Al comparar los resultados obtenidos con investigaciones similares referentes hospitales y entornos climáticos cálidos húmedos en México y en otros países, sobresalen los siguientes aspectos:

1. La aproximación del valor de  $T_n$  obtenido en este estudio ( $T_n=26.52 \text{ }^\circ\text{C}$ ) con los valores para clima cálido húmedo descubiertos en hospitales por Yau & Chew, en 2009 ( $T_n= 26.4 \text{ }^\circ\text{C}$ ); y Azizpour, *et al*, en 2012 ( $T_n= 26.8 \text{ }^\circ\text{C}$ ) a pesar del distanciamiento geográfico de los hospitales estudiados.
2. El contraste con el valor de  $T_n$  obtenido en un mismo clima y región geográfica cuando se comparan edificios pertenecientes a distintos géneros arquitectónicos, en este caso hospitales contrastados con centros educativos en Yucatán ventilados naturalmente ( $T_n= 28.03 \text{ }^\circ\text{C}$ ) reportado por González & Gómez, (2018).
3. El rango de confort térmico para visitantes más cercano al encontrado en este estudio fue el reportado por Sattayakorn *et al*. (2017), en hospitales de Tailandia ( $22 \text{ }^\circ\text{C} - 27.1 \text{ }^\circ\text{C}$ ) con una diferencia en la humedad relativa, ya que en el momento de la recolección de datos de Sattayakorn, esta fue de  $75\% \pm 6$  y du-

rante este estudio el promedio fue de 60.66 % (DE=9.32).

- Se observó que los visitantes aceptaron en un alto porcentaje el ambiente térmico de la SEH-VN, probablemente porque su tolerancia refleje la intención de contribuir a una mejora en la salud del paciente a quien acompañan más que a cualquier otro factor, tal como lo observó Sattayakorn, *et al.* (2017), incluso cuando los tiempos de espera fueron considerables.

#### LIMITACIONES DEL ESTUDIO

El estudio se realizó durante el turno matutino. Sería recomendable extender el estudio al turno vespertino en donde las condiciones climáticas coincidirían con las horas más calurosas del día.

#### CONCLUSIONES

El estudio encontró que el valor de  $T_n$  obtenido tanto por método de Griffiths (1990), como con la regresión multinomial son similares entre sí (26.86 °C y 26.52 °C, respectivamente). Lo que indica la capacidad predictiva de dichos métodos. Para el cálculo con el método de Griffiths se asignó un coeficiente de 0.50 como en los estudios anteriores sobre hospitales localizados en climas cálidos húmedos (Khalid *et al.*, 2018).

El valor de  $T_p$  obtenido (21.79 °C) fue menor al establecido en normas como el EN15251 que es de 23-26 °C para el verano (Nicol *et al.*, 2012).

A pesar de que el ambiente térmico encontrado en cada una de las mediciones no cumple con la temperatura recomendada (25 °C) para las SEH públicas en México para climas cálidos húmedos (IMSS, 1997), se encontró un alto grado de aceptabilidad del ambiente y un rango de 23.16 °C a 28.71 °C para un 80 % de aceptabilidad con una humedad relativa de 70 %, por lo que las SEH-VN podrían ser una alternativa que potencie la eficiencia y el ahorro energético. El rango de confort térmico encontrado supera ligeramente el calculado previamente en espacios naturalmente ventilados de acuerdo con ASHRAE 55 (2020) mostrando los efectos de la aclimatación.

Por otra parte, la variable  $T_g$  resultó un buen predictor para medir la aceptación del ambiente térmico en la SEH-VN en donde realizó el estudio.

#### AGRADECIMIENTOS

El estudio fue realizado gracias a la valiosa colaboración de la Br. Yeny Cecilia Canul y Canul y el Br. Rafael Alberto Velueta-Álvarez, estudiantes de la Facultad de Matemáticas. Quienes aportaron su trabajo y dedica-

ción como parte del plan para el Programa Institucional de Servicio Social de la UADY.

#### REFERENCIAS

- ASHRAE. (2020). ASHRAE Standard 55-2020 (Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy). Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- ASHRAE. (2017). ASHRAE Standard 55-2017 (Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy). Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Azizpour, F., Moghimi, S., Lim, C., Mat, S., Salleh, E., & Sopian, K. (2012a). Thermal comfort investigation of a facility department of a hospital in hot-humid climate: correlation between objective and subjective measurements. *Indoor and Built Environment*, 22 (5), 836-845. <https://doi.org/10.1177/1420326X.12460067>
- Azizpour, F., Moghimi, S., Mat, S., Lim, C., & Sopian, K. (2012b). A thermal comfort evaluation based on different occupancy levels in hospitals in a hot-humid region. *Advances in Environment, Biotechnology and Biomedicine*, WSEAS, 157-162.
- Azizpour, F., Moghimi, S., Salleh, E., Mat, S., Lim, C. H., & Sopian, K. (2013). Thermal comfort assessment of large-scale hospitals in tropical climates: A case study of University Kebangsaan Malaysia Medical Centre (UKMMC). *Energy and Buildings*, 64, 317-322. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.05.033>
- Berardi, B., & Leoni, E. (1993). Indoor air climate and microbiological airborne: Contamination in various hospital areas. *Zentralblatt Hygiene Umweltmedizin*, 194 (4), 405-418.
- Bojórquez, G. (2010). *Confort térmico en exteriores: Actividades en espacios recreativos, en clima cálido seco extremo*. Universidad de Colima, Colima, México.
- Bokel, R., Van den Engel, P., Eijkelenboom, A., & Ortiz, M. (2019). Comfort at hospital reception desks. In 40th AIVC Conference, 8th Tight Vent Conference, 6th centicool Conference: From energy crisis to sustainable indoor climate-40 years of AIVC. Ghent, Belgium.
- Canto, R. (2010). *Determinación de las características arquitectónicas de la vivienda yucateca necesarias para lograr su adecuado funcionamiento térmico. Definiendo la vivienda sustentable*. México: UADY.
- Cedeño, J., Williams, A., Oulhote, Y., Zanobetti, A., Allen, J., & Spengler, J. (2018). Reduced cognitive function during a heat wave among residents of non-air-conditioned buildings: An observational study of young adults in the summer of 2016. *Plos Med*, 15 (7), 1-20. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002605>
- Cheong, K., & Chong, K. (2001). Development and application of indoor air quality Audit to an air-conditioned building in Singapore. *Building and environment*, 36(2), 181-188. [http://doi.org/10.1016/S0360-1323\(99\)00064-5](http://doi.org/10.1016/S0360-1323(99)00064-5)

- Conceição, P., Broday, E., & de Paula, A. (2020). Thermal comfort applied in hospital environments: A literature review. *Applied sciences*, 10 (20). <http://dx.doi.org/10.3390/app10207030>
- Del Ferraro, S., Lavicoli, S., & Molinaro, V. (2015). A field study on thermal comfort in an Italian hospital considering differences in gender and age. *Applied ergonomics*, 50, 177-184. <http://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.03.014>
- Fabbri, K., & Gaspari, J. (2019). Indoor thermal comfort of pregnant women in hospital: Case study evidence. *Sustainability*, 11 (23), 6664. <https://doi.org/10.3390/su11236664>
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort-analysis and applications in environmental engineering*. Danish Technical Press. Copenhagen.
- García, C. (2009). *La toma de decisiones y el confort térmico en la vivienda autoproducida en Mérida, Yucatán*. Universidad de Colima, Colima, México.
- Gómez, G., Givoni, B., Alcántara, A., & Barragán, P. (2005). Human factors in the thermal performance of naturally ventilated buildings. *International Journal of Ventilation*, (3), 4, 245-253. <https://doi.org/10.1080/14733315.2005.12021995>
- Gómez, G., & Martínez, K. (2012). Thermal comfort and health conditions in air-conditioned offices in a warm and sub-humid climate. In: 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs towards an environmentally responsible architecture. Lima, Perú. Recuperado de <http://plea-arch.org/ARCHIVE/2012/files/T02-20120130-0075.pdf>
- Gómez, G., & Ruiz, P. (2007). Determinación de la amplitud del rango de confort térmico preferente para las personas que habitan en clima tropical sub-húmedo. Reporte técnico final CGIC-400/06-A-000, FRABA. Colima: Universidad de Colima, México.
- González, M., & Gómez Azpeitia, G. (2018). Thermal comfort in classrooms in the hot and humid climate from México. Proceedings of 10th Windsor Conference: Rethinking Comfort. Windsor, UK. Network for comfort and Energy Use in Buildings. Recuperado de <http://nceub.org.uk>
- Griffiths, I. (1990). Thermal comfort studies in buildings with passive solar features, field studies. Report of the Commission of the European Community. UK. ENS35 090.
- IMSS. (1997). Norma de diseño de ingeniería en acondicionamiento de aire del IMSS ND-01-IMSS-AA-97. México.
- INEGI. (2016). Anuario estadístico y geográfico de Yucatán 2016. México. Recuperado de [http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF\\_Docs/YUC\\_ANUARIO\\_PDF16.pdf](http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/YUC_ANUARIO_PDF16.pdf)
- ISO 10551. (2011). Ergonomics of the thermal environment-assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
- ISO 7730. (2005). Ergonomics of the thermal environment-analytical determination and determination and interpretation of the thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
- ISO 7726. (1998). Ergonomics of the thermal environment-Instruments for measuring physical quantities. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
- Jauregui, E., & Tejada, A. (2001). A scenario of human thermal comfort in Mexico for 2CO2 conditions. *Atmósfera*, 14, 125-138.
- Khalid, W., Zaki, S. A., Rijal, H. B., & Yakub, F. (2018). Thermal comfort requirements for different occupants in Malaysian hospital in-patient wards. *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci*, 43, 128-140.
- Khodakarami, K., & Knight, I. (2007). Measured thermal comfort conditions in Iranian hospitals for patients and staff. Proceedings of Clima WellBeing Indoors, Helsinki, Finland.
- Khodakarami, J., & Nasrollahi, N. (2012). Thermal comfort in hospitals- A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 4071-4077. <http://doi.org/10.3390/app10207030>
- Linares, C., & Díaz, J. (2008). Impact of heat waves on daily mortality in distinct age groups. *Gac. Sanit*.
- Lui, K., You, W., Chen X., & Liu, W. (2022). Study on the influence of globe thermometer method on the accuracy of calculating outdoor mean radiant temperature and thermal comfort. *Atmosphere*, 13, 809. <https://doi.org/10.3390/atmos13050809>
- Lutz, B. (2020) Esperar en urgencias de hospitales públicos de la Ciudad de México. *Salud Problema, Segunda época*. (14), 28, 14-33. <https://saludproblemaojs.xoc.uam.mx/index.php/salud-problema/article/view/618>
- Maldonado, G., Fragoso, J., Orrico, S., Flores, M., Quiroz, C., & Sandoval, A. (2002). Tiempo de espera en el primer nivel para la población asegurada por el IMSS. *Revista Médica del IMSS*, 40 (5), 421-429.
- Martínez, T. (2011). *Temperatura y rango de confort térmico en oficinas climatizadas artificialmente en clima cálido subhúmedo*. Universidad de Colima. Colima, México
- Mora, R., & Meteyer, M. (2018). Using thermal comfort models in health care settings: A review. The 2018 ASRAE Annual Conference. USA.
- Mui, K., Wong, L., & Fong, K. (2008). Evaluation of indoor environment quality of elderly centers of Hong Kong. *International Journal of Housing and Science and Its Applications*. 32. 121-131.
- Nicol, F., Humphreys, M., & Roaf, S. (2012). *Adaptive thermal comfort: principles and practice*. London: Routledge.
- Ortega, P., & Aguilar J. (2003). Estrés ambiental: un modelo de salas hospitalarias. *Revista Mexicana de Psicología*, 20 (2). 327-336.
- Ortega, P., & Estrada, C. (2005). Environmental evaluation of three different waiting rooms in a Mexican hospital. *Environmental Design Research Association*, 36.
- Ortega, P., & Estrada, C. (2008). Environmental evaluation of hospital waiting rooms: Relationships of psychoenvironmental variables. Environmental Design Research Association 39th.
- Peel, M., Finlayson, B., & McMahon, B. (2007). Update map of the Köpen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*. 11, 1633-1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>

- Rijal, H. (2013), Field investigation of comfort temperature and adaptive model in Japanese houses. PLEA2013-29th Conference, Sustainable Architecture for a Renewable Future. Munich, Germany.
- Ruiz, P. (2011). *Confort térmico variable en clima cálido subhúmedo*. (Tesis de doctorado). Universidad de Colima, México.
- Sattayakorn, S., Ichinose y M., & Sasaki, R. (2017). Clarifying thermal comfort of healthcare occupants in tropical region: A case of indoor environment in Thai hospitals. *Energy & Building*, 149, 45-57. [10.1016/j.enbuild.2017.05.025](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.025)
- Smith, R., & Rae, A. (1977). Thermal comfort of patients in hospital ward areas. *Journal of Hygiene*, 78(1), 17-26. <https://doi.org/10.1017/s0022172400055881>
- Tartarino, F., Cooper, P., & Fleming, R. (2018). Thermal perceptions, preferences and adaptive behaviours of occupants of nursing homes. *Building & Environment*, 132, 57-69. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.018>
- Yau, Y., & Chew, B. (2009). Thermal comfort study of hospital workers in Malaysia. *Indoor air*, 19 (6), 500-510. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2009.00617.x>
- Yau, Y., & Chew, B. (2013). Adaptive thermal comfort model for air-conditioned hospitals in Malaysia. *Build. Serv. Eng. Res. Tec.*, 35, 117-138. <https://doi.org/10.1177/0143624412474829>
- World Health Organization & Health Care without Harm. (2008). Healthy hospitals, healthy planet, healthy people.

**Cómo citar:**

González-Cetz, M. M., Ancona-Martínez, L. R., & Canto-Cetina, R. (2023). Confort térmico en salas de espera de hospital en clima cálido húmedo. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 24 (01), 1-12. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2023.24.1.004>