

Confort térmico al interior del transporte público de la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México

Conforto térmico dentro do transporte público na área metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México

Thermal Comfort inside Public Transit in the Guadalajara Metropolitan Area, Jalisco, Mexico

Valentina Davydova Belitskaya¹, Perla Sánchez Torres¹, Martha Georgina Orozco Medina¹, Arturo Figueroa Montaña², Javier García Velasco¹

¹ Instituto de Medio Ambiente y Comunidades Humanas. Departamento de Ciencias Ambientales. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. Camino Ramón Padilla Sanchez 2100, C.P. 45200, Nextipac, Zapopan, Jalisco, México.

² Departamento de Física. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Universidad de Guadalajara. Blvd. Marcelino García Barragán 1421, esq Calzada Olímpica, C.P. 44430, Guadalajara, Jalisco, México.

Cita: Davydova Belitskaya V, Sánchez Torres P, Orozco Medina MG, Figueroa Montaña A, García Velasco J. Confort térmico al interior del transporte público de la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. Rev. salud ambient. 2019; 19(2):125-135.

Recibido: 13 de marzo de 2018. **Aceptado:** 22 de julio de 2019. **Publicado:** 15 de diciembre de 2019.

Autor para correspondencia: Martha Georgina Orozco Medina.

Correo e: martha.orozco@academicos.udg.mx

Instituto de Medio Ambiente y Comunidades Humanas. Departamento de Ciencias Ambientales. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. Camino Ramón Padilla Sánchez 2100 45200. Las Agujas, Zapopan, Jalisco, México.

Financiación: CONACYT, P3E-UDG, fondos federales.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses que hayan influido en la realización y la preparación de este trabajo.

Declaraciones de autoría: Todos los autores contribuyeron al diseño del estudio y la redacción del artículo. Asimismo todos los autores aprobaron la versión final.

Resumen

Se muestran los resultados de la evaluación de la sensación térmica al interior de espacios semi-cerrados, como es el caso de cuatro rutas del transporte público que los estudiantes de la zona metropolitana de Guadalajara utilizan para sus traslados a los Centros Universitarios de Ciencias Biológicas y Agropecuarias y al Centro Universitario de Ciencias de Salud de la Universidad de Guadalajara. Se presentan los resultados de evaluación del bienestar subjetivo de los estudiantes a partir de encuestas dirigidas aplicadas paralelamente al proceso de medición de temperatura y de humedad al interior del transporte. Se hizo el cálculo de valores de sensación térmica por medio del Índice de Temperatura Aparente (ITA) para las cuatro rutas de estudio a fin de valorar el confort que se presenta en las unidades de transporte. Los promedios generales de mayor frecuencia en las mediciones oscilan entre los 30 °C - 38 °C. Se calcularon los índices de ITA para octubre, mayo y enero. En general los datos de sensación térmica más altos se registraron en mayo. Le siguen los valores registrados en octubre a causa de humedad relativa significativa, la cual fue observada alrededor de 60 %. Factor que ha condicionado el aumento de la temperatura aparente en otoño. Los resultados muestran que solo un 23 % del total de datos, corresponde a valores de ITA dentro del rango "confort", es decir se encuentran entre 20 °C a 28 °C. Los resultados comprueban que los estudiantes universitarios, el chofer y demás pasajeros, están expuestos a riesgos como el estrés térmico y sus consecuencias.

Palabras clave: confort térmico; espacios semicerrados; bienestar subjetivo; ciudad tropical, México; ambiente interior; transporte público.

Resumo

Apresentam-se os resultados da avaliação do conforto térmico em espaços semifechados, como é o caso de quatro rotas de transporte público, que os estudantes da área metropolitana de Guadalajara utilizam para se deslocarem para o Centro Universitário de Ciências Biológicas e Agrícolas e para o Centro Universitário de Ciências da Saúde. Os resultados da avaliação do bem-estar subjetivo dos estudantes são apresentados a partir de questionários aplicados concomitantemente com o processo de medição de temperatura e humidade, no interior do transporte. Os valores da sensação térmica foram calculados através do índice de Temperatura Aparente (TA) para as quatro rotas do estudo, de modo a avaliar o conforto nas unidades de transporte. As médias gerais de maior frequência, nas medições efetuadas variam entre 30 °C e 38 °C. Os índices de TA foram calculados para outubro, maio e janeiro. Em geral, os dados de sensação térmica mais altos, foram registrados em maio. Seguiram-se os valores registrados em outubro, por causa da humidade relativa significativa, que foi observada com valores de cerca de 60 %. Fator que condicionou o aumento aparente da temperatura no outono. Os resultados mostram que apenas 23 % do total de dados, correspondem a valores de TA dentro da faixa “conforto”, ou seja, entre 20 °C e 28 °C. Os resultados mostram que aqueles estudantes universitários, o motorista e os outros passageiros estão expostos a riscos como o stress térmico e suas consequências.

Palavras-chave: conforto térmico; espaços semifechados; bem-estar subjetivo; cidade tropical, México; ambiente interno; transporte público.

Abstract

The results of the evaluation of the thermal sensation from temperature and relative humidity measurements inside four public transit routes are given here. Students from the Metropolitan Area of Guadalajara use these routes to get to the campuses of the Biological and Health Sciences Universities. Parallel to the temperature and humidity measurements, the subjective well-being of students was evaluated by means of direct questions about their degree of comfort during the trips. In particular, the thermal sensation was calculated by means of the Apparent Temperature Index (ATI) as a way of having a quantitative point of reference for thermal comfort. The most frequent average ATI values occurred in the 30-38 °C range from 7.00 am to 7.00 pm. The period of study comprised the months of October and May, which see little rainfall, and January – the dry season. The highest ATI was recorded in May and October because of the high humidity – above 60 %. Only 23 % of ATI values qualified as being ‘comfortable’, and typical values ranged from 20 °C to 28 °C. The results of this study show that university students, drivers and other passengers are exposed to risks such as thermal stress and to their consequences.

Keywords: thermal comfort; semi-indoor space; subjective well-being; tropical city, Mexico; indoor environment; public transport.

INTRODUCCIÓN

La Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), capital del estado de Jalisco en México, está en la región del trópico, tiene un clima templado mesotermal de tipo C de acuerdo a la clasificación de Köppen y cuenta con dos temporadas: seca (noviembre-abril) y húmeda (mayo-octubre) con precipitación total promedio anual de aproximadamente 900 mm¹. De acuerdo a las estadísticas de último periodo climático representativo 1981-2010 el régimen de temperatura mínima es muy variable mostrando promedio de 12,42 °C durante la temporada seca y de 16,70 °C durante la temporada húmeda mientras la temperatura máxima registró un promedio de 26,62 °C y 28,23 °C, respectivamente.

El intenso desarrollo de la ciudad y los municipios adyacentes a la capital han marcado la presencia y desarrollo de la isla de calor que abarca toda el área conurbada y como consecuencia, un significativo cambio de régimen de precipitación y de temperaturas dominantes²⁻⁴.

De acuerdo a Davydova Belitskaya y Frías⁵ en la ZMG, se registra un incremento en la frecuencia de noches cálidas, así como en la magnitud de temperaturas mínimas y máximas diurnas típicas durante la primavera. Se presenta también una mayor frecuencia e intensidad de olas de calor en abril y mayo, como resultado del cambio climático local, regional y global, que condiciona ambientes críticos por el estrés térmico, especialmente al interior del transporte público^{5,6}.

Recientemente, se destaca que el transporte público es un microambiente, donde ocurren exposiciones altas a diversos contaminantes, provenientes del propio vehículo y de otros automotores. Entre estos destacan el material particulado, ruido y dióxido de carbono, que pudieran incidir en la salud de los usuarios⁷⁻⁹.

Otro aspecto a destacar en el transporte público es la falta de una ventilación adecuada al interior del vehículo, aunado a la saturación de personas que resulta en una degradación de la calidad del aire interior por la acumulación de los gases resultantes de la respiración y otros procesos fisiológicos del organismo, como la

evapotranspiración de la piel que se suma al registro de altos índices de humedad, así como a la acumulación de contaminantes, como material particulado derivado de procesos de combustión¹⁰. En ciudades tropicales, las altas temperaturas generan altos índices de humedad en ambientes interiores y con ello la presencia de un parámetro conocido como “sensación térmica” a partir del cual se calcula el Índice de Calor (IC), tomando como base la temperatura y humedad relativa del ambiente interior. Dicho parámetro resulta importante en relación con el confort y bienestar de los usuarios de estos ambientes interiores, pues conjuga los aspectos meteorológicos con aspectos subjetivos, como la percepción de las personas. Está comprobado que a medida que el clima se hace más cálido y húmedo la gente se torna más irritable y disminuye drásticamente su capacidad de efectuar eficientemente las tareas físicas y mentales¹¹⁻¹⁵. De esta forma el IC intenta medir la molestia ante los efectos del clima, particularmente ante el efecto de temperatura y humedad relativa en conjunto.

Se conoce que el estrés térmico es producto de la interacción de la radiación de los elementos del ambiente, la humedad y velocidad del aire, más ropa y la actividad física, todos ellos interactúan para producir una tendencia en el aumento de la temperatura corporal. El sistema termorregulador del cuerpo responde entonces con el fin de aumentar la pérdida de calor. Esta respuesta puede ser poderosa y eficaz, pero también puede producir una tensión en el cuerpo que produce malestar al calor, como golpes de calor, deshidratación, por citar algunas y

eventualmente, enfermedades e incluso la muerte. Por consiguiente, es importante evaluar los ambientes muy calurosos para garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores o personas en general que radican, trabajan, estudian o se transportan en ambientes cálidos, típicos en climas tropicales y subtropicales^{6,16-19}.

En esta investigación se presentan los resultados de la evaluación de la sensación térmica al interior de espacios semi-cerrados, como es el caso de cuatro rutas del transporte público que los estudiantes de la ZMG utilizan para sus traslados a los Centros Universitarios de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) y el Centro Universitario de Ciencias de Salud (CUCS). El estudio se complementa con la evaluación del bienestar subjetivo de los estudiantes que utilizan estas rutas de forma cotidiana, a partir de encuestas dirigidas aplicadas paralelamente al proceso de medición de temperatura y de humedad al interior del transporte público de las rutas seleccionadas.

MATERIAL Y MÉTODOS

La investigación del confort térmico al interior del transporte público comprende dos procesos: (i) la medición micro-meteorológica al interior de las rutas seleccionadas, además de las variables meteorológicas del ambiente urbano y (ii) la encuesta dirigida al usuario del transporte público. En la tabla 1 se muestran las preguntas de la encuesta que se tomaron en cuenta para el estudio presente.

Tabla 1. Elementos de encuesta aplicados para el estudio de bioconfort de los estudiantes usuarios del transporte público universitario

DATOS GENERALES SOCIODEMOGRÁFICOS						
Sexo	Femenino			Masculino		
Edad	18-20	21-23	24-26	27-29		
CONDICIONES EN EL USO DEL TRANSPORTE PÚBLICO						
¿En promedio cuánto tiempo inviertes al día en transportarte?	Menos de 30 minutos	31-60 minutos	61-90 minutos	91-120 minutos	121-150 minutos	151-180 minutos
¿Cuántos días a la semana utilizas el transporte?	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	Todos los días de la semana
PERCEPCIÓN ACERCA DE FACTORES DEL AIRE INTERIOR						
Ventilación	1-Muy mala	2-Mala	3-Regular	4-Buena	5-Muy buena	6-Sin responder
Temperatura	1-Muy mala	2-Mala	3-Regular	4-Buena	5-Muy buena	6-Sin responder
Humedad	1-Muy mala	2-Mala	3-Regular	4-Buena	5-Muy buena	6-Sin responder
Ruido	1-Muy mala	2-Mala	3-Regular	4-Buena	5-Muy buena	6-Sin responder
¿La temperatura al interior del camión la percibes cómo?	1-Fría	2- Fresca	3-Confortable	4-Calurosa	5-Muy calurosa	6-No la percibes
¿La humedad al interior del camión la percibes cómo?	1-Muy seca	2- Seca	3-Confortable	4-Húmeda	5-Muy húmeda	6-No la percibes

1. ÁREA DE ESTUDIO

Se eligió un centro universitario claramente urbano donde el entorno ambiental ha sido totalmente modificado, el Centro Universitario de Ciencias de la Salud (CUCS) ubicado al interior de la urbe; y el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), ubicado en un entorno semi-rural al exterior de la ciudad, con el fin de realizar una comparación entre la opinión de estudiantes de los dos centros universitarios con diferentes ambientes urbanos.

Se seleccionaron 4 rutas del transporte público que los estudiantes utilizan para llegar a estos Centros Universitarios. Para el CUCBA, las rutas 629 y 170 B que son suburbanas pues prestan sus servicios fuera del área de conurbación de la ZMG, y para el CUCS las rutas 605 y 45 que son rutas netamente urbanas.

En la tabla 2 se muestran las distancias de recorrido de cada una de las rutas, así como los tiempos que tardan en cubrir su ruta.

Tabla 2. Rutas de transporte público seleccionadas.

RUTA	Distancia total	Tiempo de recorrido estimado	Tiempo de recorrido estimado en hora pico
170B CUCBA	26,17 km	1:12 h	2:04 h
629 Vía la Venta CUCBA	30,46 km	1:24 h	2:23 h
45 Vía Vallarta CUCS	22,65 km	1:02 h	1:47 h
605 CUCS	25,69 km	1:11 h	2:01 h

2. MEDICIONES MICRO-METEOROLÓGICAS

Incluye la medición física de las condiciones micro-climáticas al interior del autobús con un equipo meteorológico portátil tipo Kestrel 5 Series Weather/ Environmental Meters, el cual fue calibrado y certificado por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de EE UU. Esta estación meteorológica portátil incluye sensores para medir los parámetros: temperatura del aire bulbo seco (°C), temperatura del aire bulbo húmedo (°C), temperatura de punto de rocío (°C), velocidad (m/s) y dirección del viento, humedad relativa (%), altitud (msnm) y presión atmosférica (hPa). Se evaluó el ambiente interior en términos de temperatura y humedad. Para tal fin se establecieron tres puntos en la unidad de transporte (cabina del chofer, partes media y trasera), con el fin de obtener los valores representativos promedio de la totalidad del espacio interior. El lapso de la medición fue de un minuto en cada uno de los puntos.

A fin de complementar el análisis del ambiente interior, se recopilaron los registros horarios de temperatura y de humedad relativa de las 8 estaciones del Sistema de Monitoreo Atmosférico del Estado de Jalisco (SIMAJ). Estos como representativos de las condiciones meteorológicas del macro-ambiente urbano. Esta red ambiental es administrada por la Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del estado de Jalisco (SEMADET), la cual monitorea la principal parte habitacional de la Zona Metropolitana de Guadalajara (figura 1).

Finalmente, y al mismo tiempo de la caracterización micro-ambiental, se evaluó el bienestar subjetivo de los estudiantes usuarios de las rutas seleccionadas, mediante una entrevista directa con la aplicación de una encuesta.

Figura 1. Distribución de las estaciones del SIMAJ en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, en donde S1 – S8 son las estaciones de monitoreo atmosférico ambiental



Dicho instrumento incluía cuestionarios sociodemográficos (sexo, carrera, edad, residencia), así como cuestionarios relacionados a la percepción de calidad del ambiente interior en relación con el confort térmico y el estado de bienestar que le producían aspectos, como el estado físico que guardaba la ruta, trato del conductor, entre otros. La estimación del confort térmico por medio del voto de comodidad del sujeto (VME) se obtuvo mediante la encuesta de percepción²⁰.

De esta manera los resultados de la caracterización micro-ambiental y la encuesta de percepción de la calidad del ambiente interior se contrastaron para valorar las condiciones generales de confort térmico al interior de las rutas seleccionadas, los horarios comprendieron de las 9:00 a las 16:00 h., en correspondencia con el horario de las mediciones.

3. ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFORT

El índice de estrés térmico es una herramienta valiosa para estimar la probable carga térmica del cuerpo en ambientes calurosos. Los valores límite resultantes de

su cálculo indican cuándo la tensión resulta inaceptable. Históricamente se conocen múltiples métodos para determinar el confort humano relacionado al estrés térmico en ambientes públicos^{13,21-22}. En particular para este estudio se utilizó el índice de temperatura aparente (ITA) para calcular el índice de confort térmico. ITA combina la temperatura del aire y humedad relativa como una medida de cuánto calor siente o percibe una persona promedio en varias temperaturas y humedades relativas. ITA ha sido ampliamente utilizado en diversas investigaciones para valorar el riesgo por exposición al calor. Ejemplo de ello es la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) de EE UU, quienes utilizan este índice para comunicar advertencias de calor excesivo; además, es ampliamente utilizado en investigaciones de salud ambiental, incluyendo estudios de exposiciones a la contaminación del aire²³⁻²⁶.

Por lo anterior ITA se aplicó con el fin de investigar el confort para las personas expuestas a las condiciones ambientales dentro de los espacios semi-cerrados. Es importante resaltar un regular o mal estado de transporte público en Guadalajara, así como un constante sobrecupo de pasajeros (Figura 2a-b).

Figura 2. Transporte público de la Zona Metropolitana de Guadalajara: a) ruta 629, b) ruta 170 B



ITA fue desarrollado por Steadman^{15,27-28} y utiliza valores de temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar, sin embargo, también hay una versión simplificada donde solo se emplea la temperatura del aire y la humedad relativa, a este índice también se le conoce como IC. Por lo general se utilizan tablas que están dadas en términos de humedad relativa y temperaturas en °C, en las cuales se busca cuantificar el efecto de estas variables en el confort térmico de las personas. Los valores se agrupan en bandas de colores, que indican los rangos de riesgo para las personas, donde a partir de la banda amarilla, se comienza a sentir cierto desconfort hasta llegar a la banda roja donde el peligro a sufrir un infarto es inminente^{23-24,26}. A partir de la información proporcionada en estas tablas

se desarrolló la ecuación para estimar el índice de confort térmico mediante la ITA:

$$ITA = b_0 + b_1T + b_2HR$$

En donde $b_0 = -63.244$, $b_1 = 2.526$ y $b_2 = 0.351$, T es la temperatura (°C) y HR es la humedad relativa (%). La varianza explicada o coeficiente de determinación de la ecuación construida es de 0,9603.

Otra estimación del confort térmico se realizó a partir del método de Fanger²⁹, en la actualidad uno de los más desarrollados, el cual calcula dos índices denominados Voto Medio Estimado (VME) y Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPI), que indican la sensación

térmica media de un entorno y el porcentaje de personas que se sentirán incómodas en un ambiente determinado. Esto resulta de gran interés no sólo cuando se trata de evaluar una situación sino cuando se pretende proyectar o modificar un ambiente térmico. La importancia y aplicación generalizada del método queda patente en su inclusión, como parte de la norma ISO 7730 relativa a la evaluación del ambiente térmico^{12,21,30}. El Voto Medio Estimado (VME) es un índice que refleja el valor medio de los votos emitidos por un grupo numeroso de personas respecto a una situación dada en una escala de sensación térmica de 7 niveles, basado en el equilibrio térmico del cuerpo humano por percepción de las personas participantes:

- Nivel 1: frío (-3),
- Nivel 2: fresco (-2),
- Nivel 3: ligeramente fresco (-1),
- Nivel 4: neutro, confort (0),
- Nivel 5: ligeramente caluroso (1),
- Nivel 6: caluroso (2),
- Nivel 7: muy caluroso (3)

El Voto Medio Estimado predice el valor medio de la sensación térmica, no obstante, los votos individuales se distribuirán alrededor de dicho valor medio, por lo que resulta útil estimar el porcentaje de personas insatisfechas por notar demasiado frío o calor, es decir aquellas personas que considerarían la sensación térmica provocada por el entorno como desagradable. Para calcular el valor del porcentaje de personas insatisfechas (PPI) se aplicó la siguiente ecuación³⁰:

$$PPI = 100 - 95e^{-0.03353VME^4 - 0.2179VME^2}$$

La exposición a condiciones térmicas extremas provoca que el cuerpo genere mecanismos para regular el desequilibrio producido y así preservar la temperatura interna. Existen dos procesos principales: el primero de ellos es la sudoración y se presenta cuando el cuerpo comienza a sentir calor (mecanismo de enfriamiento), el segundo ocurre cuando el cuerpo empieza a enfriarse demasiado lo que provoca la estimulación de los músculos, pudiendo causar temblores y así incrementar el calor corporal³¹. Sin embargo, cuando los mecanismos no logran contrarrestar el desequilibrio se presentan algunas alteraciones a la salud, en este caso tan solo se mencionarán las generadas por estrés térmico provocado por el calor. Se conoce que los efectos pueden ser agudos o presentarse a largo plazo. Los principales síntomas que se presentan cuando hay estrés por calor son: fuerte sudoración provocando una deshidratación, calambres musculares, cambios en los patrones de respiración y pulso, debilidad, mareos o desmayos; cuando las exposiciones son largas los efectos son más severos provocando: alteración severa de los patrones de respiración, pulso rápido y fuerte que luego cambia a débil y rápido, dolor de cabeza intenso, calambres musculares severos, confusión, cese de la sudoración y golpe de calor³².

Debido a las afectaciones adversas a la salud que tiene la exposición a temperaturas altas, algunos autores proponen categorías para el confort térmico que equivalen a rangos de temperatura y que se relacionan con síntomas por estrés por calor que podrán presentar las personas, como se observa en la tabla 3.

Tabla 3. Las categorías de riesgo de temperatura aparente adaptadas de Agencia Estatal de Meteorología, España³⁸ y Gadiwala y Sadiq²³

CATEGORÍA	AEMET, °C	Gadiwala y Sadiq, °C	Síntomas
Precaución	27,0-32,0	27,0 – 32,0	Posible fatiga por exposición prolongada o actividad física.
Extrema precaución	33,0-40,0	32,1 – 41,0	Insolación, golpe de calor, calambres. Probable por exposición prolongada o actividad física.
Peligro	41,0-53,0	41,1 – 54,0	Insolación, golpe de calor, calambres. Muy posibles por exposición prolongada o actividad física.
Extremo peligro	≥53	> 54,0	Golpe de calor, insolación inminente

Esta información es muy importante sobre todo cuando se trata de evaluar el umbral de riesgo y el peligro que representa para la población expuesta a temperaturas altas³³.

4. ENCUESTA DE PERCEPCIÓN

Para evaluar el bienestar subjetivo se aplicó una encuesta dirigida a los estudiantes de los centros universitarios del CUCBA y CUCS. Por cada centro universitario se aplicaron 177 y 156 respectivamente, siendo un total de 333 encuestas. Esta encuesta se diseñó sobre factores de bienestar subjetivo con respecto al uso de las rutas de transporte, en donde las preguntas tenían opción de respuesta múltiple y algunas otras fueron en escala de Likert³⁴.

La encuesta se conformó de los datos personales más factores de percepción que se detallan a continuación:

- Datos sociodemográficos (edad, sexo, licenciatura y semestre).
- Hábitos que podrían incrementar la vulnerabilidad en estudiantes.
- Patrones de uso de transporte público.
- Factores de percepciones acerca del uso de transporte público.
- Factores de percepciones acerca de calidad ambiental interior del transporte público.
- Elementos de exposición durante los traslados.
- Malestares percibidos durante los traslados.

Cabe aclarar que la aplicación de las encuestas comprendió los meses en que se realizaron las

mediciones micro-ambientales y fue auto contestada por los estudiantes, durante los trayectos o bien en espera de la unidad de transporte.

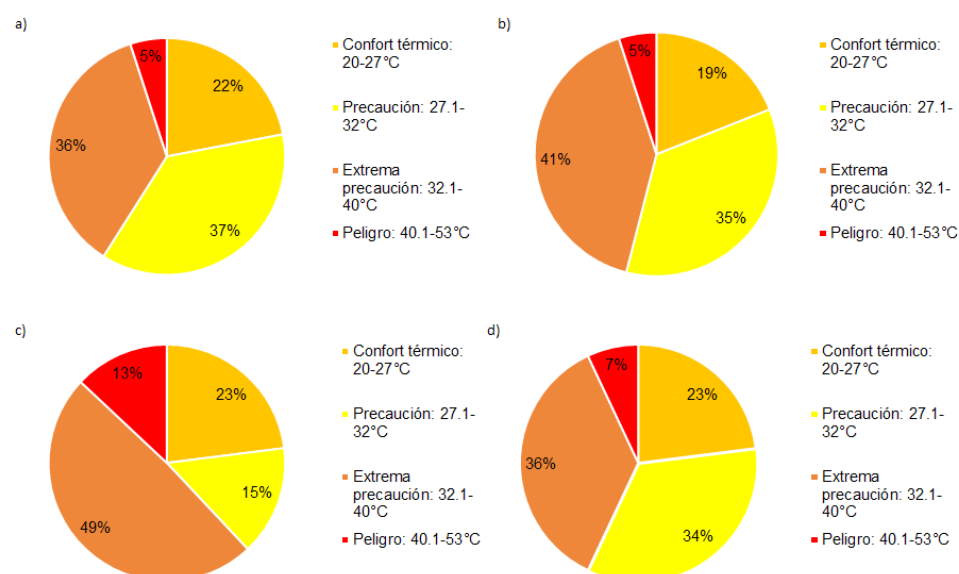
Se utilizó estadística descriptiva para los datos sociodemográficos de los estudiantes encuestados. De acuerdo a los resultados sociodemográficos obtenidos en las encuestas de CUCBA participaron 53 % de mujeres y 47 % de hombres, mientras en CUCS se registró un 67 % de mujeres y 33 % de hombres.

RESULTADOS

1. CONFORT TÉRMICO

Con el fin de determinar el comportamiento de los datos de sensación térmica calculados a partir de las mediciones micro-meteorológicas por temporada de medición, se seleccionó un mes representativo para cada período, en donde los meses representativos fueron octubre, enero y mayo para temporada de invierno, primavera y otoño, respectivamente. Es importante mencionar que no se realizaron los muestreos a lo largo de verano que coincide con la temporada de lluvias, la cual se registra a partir de mediados de junio hasta finales de septiembre. Los resultados de frecuencias de ITA para las rutas seleccionadas con base en rangos de riesgo se muestran en las figuras 3 (a-d).

Figura 3. Porcentajes de ITA de acuerdo a la categoría de riesgo para cada una de las rutas: a) ruta 170B, b) ruta 629, c) ruta 45 y d) ruta 605.



Se puede ver que más del 40 % de registros de sensación térmica al interior de las rutas públicas que utilizan los universitarios como su medio de transporte para llegar a CUCBA o CUCS reportan magnitudes en categoría de extrema precaución y peligro, incluso la ruta 45 reporta más de 60 % de los registros en categoría extrema precaución y peligro.

Para evaluar la sensación térmica mediante el índice ITA en función de la temporada se realizó una evaluación de magnitudes registradas en todas las rutas seleccionadas durante los tres meses: octubre 2015, enero 2016 y mayo 2016, como representativos de los periodos de antes, durante y después de lluvias. También, se analizó el comportamiento espacial de la temperatura y humedad relativa, así como los valores estimados de IC en el ambiente exterior, tomando como base los datos generados por el SIMAJ de la Secretaría

del Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del estado de Jalisco. Los resultados de este análisis se muestran en la tabla 4 y figura 4 (a-d). El análisis de la información presenta temperaturas máximas en mayo y las mayores humedades relativas por arriba del 60 % para octubre. Como resultado de lo anterior, los mayores índices de confort para el ambiente exterior ocurrieron en estos meses. Los cálculos de sensación térmica para enero no fueron posibles ya que la temperatura media promedio mensual oscila entre 16,5-18,5 °C.

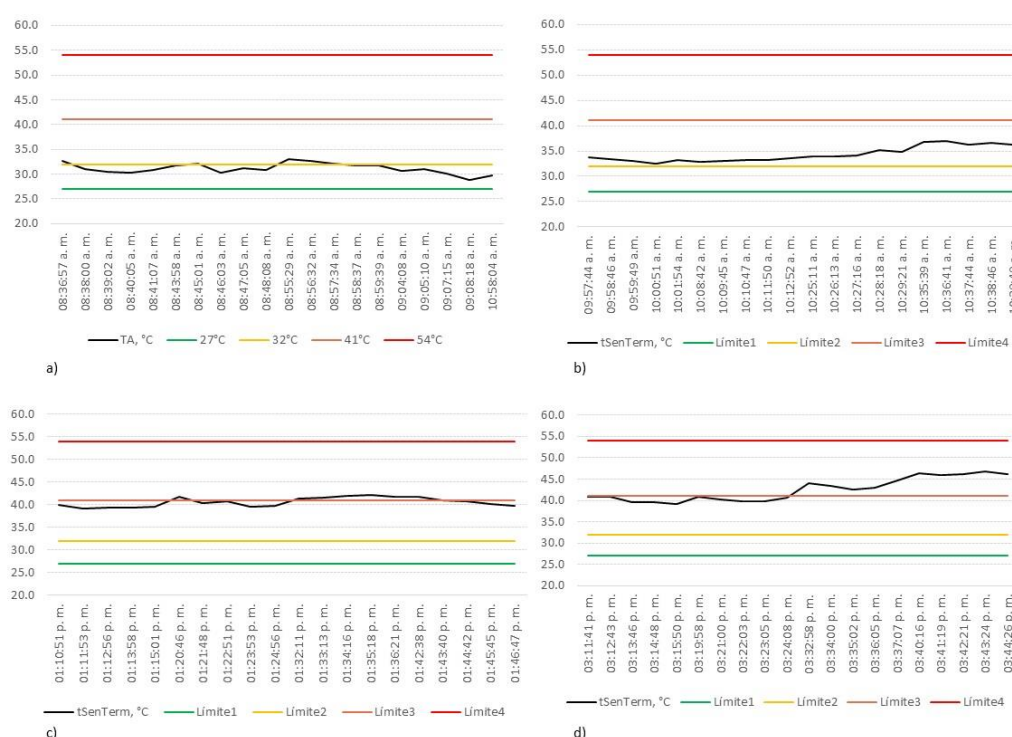
Tabla 4. Parámetros meteorológicos y temperatura aparente estimada en las diferentes temporadas

ESTACIÓN	Octubre 2015			Enero 2016			Mayo 2016		
	t, °C	HR, %	TA, °C	t, °C	HR, %	TA, °C	t, °C	HR, %	TA, °C
ATM	21	59	25	16,7	43	NA	26,5	34	28
OBL	22,2	62	25,5	17,3	43	NA	27,9	43	32
LDO	21	62	25,5	17	43	NA	26,4	30	29
TLA	21,7	58	25	17,1	40	NA	26	34	28
CEN	20	59	24	SD	45	SD	SD	39	SD
VAL	23	60	27	18,2	42	NA	27	36	27
AGU	21	60	24,5	16,5	43	NA	25	36	28
MIR	23	63	27	18,5	45	NA	27	37	29

Fuente: autores.

Nota: *ATM*- estación Atemajac, *OBL*- estación Oblatos, *LDO*- estación Loma Dorada, *TLA*- estación Tlaquepaque, *CEN* - estación Centro, *VAL* - estación Vallarta, *AGU*- estación Las Águilas, *MIR*- estación Miravalles, *SD* – Sin Dato, *NA* – No Aplica.

Figura 4. Comportamiento de TA (línea negra) registrado para un día promedio típico (mayo 12, 2016) en horas de la mañana para la ruta 629 de la unidad 1 (a), unidad 2 (b) y horario vespertino para la misma ruta de la unidad 1 (c) y unidad 2 (d).



Respecto a la ruta 629 el promedio más alto se registró en el mes de mayo con 37,2 °C, seguido del mes de octubre con 33,4 °C, y enero con un promedio 24,9 °C. La ruta 45 mostró un comportamiento similar a la ruta 629, aunque con un promedio ligeramente mayor en mayo (37,82 °C), así como 34,1 °C en octubre y 23,9 °C en enero. En caso de la ruta 170 B y a pesar de que las temperaturas más altas de ambiente exterior fueron registradas en mayo se registraron los valores más altos (33,1 °C) en el mes de octubre, mientras en mayo el valor fue de 31,4 °C y en enero se registró el promedio más bajo. Los resultados de temperatura, humedad relativa y TA para la ruta 605 fue parecida a la ruta 170 B, esto es valores de temperatura de 33,5 °C y 33,7 °C respectivamente para los meses de octubre y mayo, y 26,9 °C para el mes de enero. Es importante resaltar que los promedios más altos registrados en mayo y octubre clasifican en la categoría de extrema precaución del índice de confort térmico (tabla 4).

2. CASO DE ESTUDIO DE ITA: 12 MAYO 2016

Los estudios climáticos realizados para la Zona Metropolitana de Guadalajara y el estado de Jalisco en general sugieren el mes de mayo como el más caluroso con niveles de humedad de 40 a 60 %. Esto como consecuencia de las primeras precipitaciones que se presentan en el mes de mayo y que normalmente anteceden a la temporada húmeda entre los meses de junio a octubre²⁻³. Por lo anterior, se analiza el comportamiento diurno de la sensación térmica al interior de transporte público observado el 12 de mayo de 2016, tomando este como un día promedio típico de los valores de temperatura y humedad que se registran a lo largo del mes. Las mediciones se realizaron en dos unidades de la ruta 629 en el transcurso de la mañana (Figura 4 a, b) y por la tarde (Figura 4 c, d). En estas figuras

las líneas continuas en color corresponden a cada uno de los límites superiores de los rangos de clasificación de sensación térmica (tabla 3).

Los resultados obtenidos muestran que la TA oscila entre 30,0 y 38,0 °C y pertenecen a las categorías de Precaución (Pr) y Extrema Precaución (ExtPr) con posibles efectos sobre la salud humana, tales como fatiga, insolación, golpe de calor y calambres a causa de la exposición prolongada de altas temperaturas al interior del camión.

Por la tarde la situación de exposición es todavía más crítica ya que el IC oscila entre 40,0 y 48,0 °C, y es mucho más probable que ocurran los efectos a la salud antes mencionados debido al estrés térmico.

3. BIENESTAR SUBJETIVO

Los resultados de la encuesta se presentan en forma de tablas y gráficos. A partir de los resultados de la encuesta se tomó la percepción de estudiantes universitarios sobre los aspectos micro-ambientales al interior de las unidades del transporte seleccionadas, particularmente: la temperatura, humedad, ventilación y ruido (tabla 5). Desafortunadamente, la respuesta dominante en cuanto a la percepción de estos parámetros fue "mala". Para ampliar las estadísticas de encuesta en cuanto a la temperatura y humedad se preguntó sobre el nivel de su percepción. Los resultados de respuestas se concentran en la tabla 6. De un total de 329 encuestas realizadas en cuanto a la temperatura al interior del transporte público, un 88 % de universitarios aprecian el ambiente caluroso a muy caluroso, mientras solo un 50 % de los encuestados señala el ambiente húmedo a muy húmedo.

Tabla 5. Percepción de las condiciones ambientales al interior del transporte público

PARÁMETRO	Muy mala	Mala	Regular	Buena	Muy buena	No percibe
Ventilación	18 %	41 %	37 %	4 %	0 %	0 %
Temperatura	20 %	43 %	34 %	3 %	0 %	0 %
Humedad	13 %	34 %	40 %	9 %	0 %	4 %
Ruido	37 %	37 %	22 %	2 %	1 %	1 %

Tabla 6. Percepción de la temperatura y humedad al interior del transporte público

PERCEPCIÓN DE TEMPERATURA					
Fría	Fresca	Confortable	Calurosa	Muy calurosa	No la percibe
5	3	24	211	80	6
2 %	1 %	7 %	64 %	24 %	2 %
PERCEPCIÓN DE HUMEDAD					
Muy seca	Seca	Confortable	Húmeda	Muy húmeda	No la percibe
5	61	44	145	21	53
2 %	19 %	13 %	44 %	6 %	16 %

Con base en los resultados de la encuesta mostrada en la tabla 5, se calculó el valor de Voto Medio Estimado (VME) igual a 1108 y el porcentaje de personas insatisfechas ante las condiciones del ambiente interior (PPI) se estimó en 31 %. En base a Olesen³⁵ y Kvisgaard³¹ se recomiendan valores de VME en un rango de $\pm 0,5$ para poder conseguir un PPI menor al 10 %.

DISCUSIÓN

En el presente trabajo se obtuvieron valores de sensación térmica por medio del índice de ITA para las cuatro rutas de estudio a fin de valorar el confort que se presenta en las unidades de transporte público. Los promedios generales se encuentran en un rango de 29,62 °C a 31,72 °C, los valores que se presentaron con mayor frecuencia durante las mediciones fueron 30 °C, 32 °C, 36 °C y 38 °C. En cuanto al horario, los valores de sensación térmica más bajos ocurrieron durante la mañana, mientras que por la tarde estos se incrementan rápidamente, a causa del aumento de temperaturas diurnas al exterior, registrando el valor máximo alrededor de las 16:00 h. En la investigación realizada por Patania y colaboradores³⁶ indican que los pasajeros tienen un mayor riesgo por estrés térmico entre las horas de 12:30 y las 16:30 y que los menores problemas ocurren cuando se realizan los viajes por la mañana.

Se obtuvieron TA para cada temporada de medición, en general los datos de sensación térmica fueron mayores en el mes de mayo seguido del mes de octubre, esto debido a que los periodos con más calor se presentan en los meses de mayo y junio, en cuanto a los valores registrados en octubre, el factor de humedad relativa registrada alrededor de 60 % condicionó el aumento de la temperatura aparente. Es importante recordar que octubre es considerado como mes húmedo ya que le antecede el periodo de lluvias.

En cuanto a la valoración del grado de confort térmico en las unidades de estudio, los resultados muestran que solo un 23 % del total de datos corresponden a valores de TA que se encuentran entre 20 a 28 °C (DPA 2003). En lo que respecta a las categorías de riesgo por estrés térmico indicado por Gadiwala y Sadiq²³, los mayores porcentajes se encuentran en las categorías de "precaución" y "extrema precaución" con 30 % y 40 % respectivamente. Investigaciones realizadas en transporte público indican que hay diversos factores que determinan el grado de confort térmico. De acuerdo con Lin y colaboradores³⁷, el transporte público es más susceptible a ser afectado por el clima del aire libre, debido a la entrada del aire externo desde las ventanillas. Además, indican que los vehículos no climatizados se caracterizan por un alto grado de incomodidad para los pasajeros, debido a tres factores principales: alta temperatura del aire, fuerte radiación solar y baja circulación del aire y ventilación, además

refieren que el confort térmico puede tener variaciones de acuerdo con la temporada del año.

Esto indica que, durante los traslados, los estudiantes universitarios, así como los demás pasajeros, están expuestos a condiciones de estrés térmico, pudiendo presentar golpes de calor aunado a diversas molestias por las altas temperaturas. Por tanto, la conjunción de estos factores manifiesta que la calidad del aire interior y el confort térmico representan condiciones de traslado que no son las mejores ni las óptimas para los estudiantes, sin embargo, resulta aún más preocupante la salud de los chóferes de las unidades de transporte público estudiadas, puesto que la exposición laboral (8 horas continuas) es significativamente más crítica que la de los estudiantes (0,5 a 2 horas continuas). Por tanto, en una tendencia de movilidad general, el aumento del nivel de bienestar en el transporte desempeña un papel importante, ya que la gente hoy en día pasa una proporción de tiempo significativo en el interior del transporte público. De acuerdo a Ormuz y Muftic¹⁰, al analizar la comodidad del viaje deben considerarse factores como: confort térmico, calidad del aire, gradientes de presión y factores ergonómicos relacionados con la posición del pasajero.

Es importante tener en consideración, que existen numerosos efectos adversos a la salud humana a causa de exposición prolongada a altas temperaturas y humedad relativa al 40 %, tal como lo señala, como lo señala Cámara (2006)³⁸ en su libro variables meteorológicas y salud, editado por la Comunidad Autónoma de Madrid, entre los que señala, edema, dermatitis, agotamiento y golpe de calor, entre otros, lo cual nos lleva a reconocer la complejidad de este tema y la necesidad de profundizar en su estudio, para analizar los efectos en usuarios de transporte, pero también en personal como los chóferes, altamente vulnerables por distintas causas entre éstas la exposición a altas temperaturas y a otros factores que ya deben ser motivo de otros estudios.

BIBLIOGRAFÍA

1. Navarro RR. Estudio de la variabilidad y tendencias del cambio climático en el estado de Jalisco durante el período 1961-2010. Tesis que para obtener el título de Licenciado en Biología. Zapopan, Jalisco, México: Universidad de Guadalajara; 2015.
2. Davydova Belitskaya V, Skiba YuN. Climate of Guadalajara City (Mexico), its variation and change within latest 120 years. *World Resource Review*. 1999; 11(2):258-70.
3. Davydova Belitskaya V, Skiba YuN, Bulgakov SN, Martínez ZA. Modelación matemática de los niveles de contaminación en la Ciudad de Guadalajara, Jalisco, México. Parte I. Microclima y monitoreo de la contaminación. *Rev Int Contam Ambient*. 1999; 15:103-11.
4. Davydova Belitskaya V. Microclima y Situación Ecológica de la Zona Metropolitana de Guadalajara. En: López CA, Guerrero-Nuño J. *Ecología Urbana en la Zona Metropolitana de Guadalajara*. Guadalajara: Ágata - Universidad de Guadalajara. 2004;15-36.

5. Davydova BV, Frías UHG. Detección de señales de cambio climático en Jalisco, México. En: *Memorias en Extenso de AIDIS, 2° Congreso Interamericano de Cambio Climático, México, DF. 2016.*
6. Emmanuel R. Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka. *Build Environ.* 2005; 40(12):1591-1601.
7. Fitz D. Characterizing the Range of Children's Pollutant Exposure during School Bus Commutes. Los Angeles: California Air Resources Board; 2003.
8. Gulliver J, Briggs D. Personal exposure to particulate air pollution in transport microenvironments. *Atmos Environ.* 2004; 38(1):1-8.
9. Morawska LZ, Ristovski Z, Jayaratne ER, Keogh DU, Ling X. Ambient nano and ultrafine particles from motor vehicle emissions: characteristics, ambient processing and implications on human exposure. *Atmos Environ.* 2008; 42(35):8113-38.
10. Ormuz K Muftic O. Main Ambient Factors Influencing Passenger Vehicle Comfort. En: *Proceedings of 2nd International Ergonomics Conference. Zagreb, Croatia: Ergonomics, 2004.*
11. Peraza-Vizcarra R. Fundamentos para que la Comisión Federal de Electricidad aplique la tarifa doméstica de verano 1F en el estado de Sinaloa. Culiacán: Universidad Autónoma de Sinaloa, 2002.
12. Fernández GF, Moreno JA. El confort climático en los entornos residenciales de las capas altas, medias y bajas de la Comunidad de Madrid: otra forma de desigualdad socioespacial. En: *Moreno JA. La distribución espacial de la renta de la Comunidad de Madrid: Análisis y aplicaciones. Madrid: Consejería de Economía e Innovación Tecnológica-Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid; 2004.*
13. Epstein Y, Mora DS. Thermal Comfort and the Heat Stress Indices. *Industrial Health.* 2006; 44:388-98.
14. Mohan M, Gupta A, Bhati S. A Modified Approach to Analyze Thermal Comfort Classification. *Atmospheric and Climate Sciences.* 2014; 4(1):7-19.
15. Steadman R. The Assessment of Sultriness. Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. *J Appl Meteorol.* 1979; 18:861-73.
16. Kjellström T, Crowe J. Climate Change, Workplace Heat Exposure, and Occupational Health and Productivity in Central America. *Int J Occup Med Environ Health.* 2011; 3:270-81.
17. Ng E, Cheng V. Urban human thermal comfort in hot and humid Hong Kong. *Energy Build.* 2012; 55:51-65.
18. Makaremi N, Salleh E, Zaky JM, et al. Thermal comfort conditions of shaded outdoor spaces in hot and humid climate of Malaysia. *Build Environ.* 2012; 48:7-14.
19. Salata F, Golasi I, De Lieto VR, et al. Outdoor thermal comfort in the Mediterranean area. A transversal study in Rome, Italy. 2016, *Build Environ.* 2016; 96:46-61.
20. Sánchez TPB. Calidad del aire interior en transporte público y análisis del bienestar subjetivo en estudiantes universitarios del Área Metropolitana de Guadalajara, 2015-2016. Zapopan: Universidad de Guadalajara; 2017.
21. Mondelo P, Torada E, Comas ÚS, et al. *Ergonomía 2. Confort y estrés térmico.* Barcelona: Mutua Universal; 1999.
22. Djongyang N, Tchinda R, Njomo D. Thermal comfort: A review paper. *Renew Sust Energy Rev.* 2010; 14:2626-40.
23. Gadiwala M, Sadiq N. The Apparent Temperature Analysis of Pakistan Using Bio-Meteorological Indices. *Pakistan J Meteorol.* 2008; 4(8):15-26.
24. Anderson GB, Bell ML, Peng RD. Methods to Calculate the Heat Index as an Exposure Metric in Environmental Health Research. *Environ Health Perspect.* 2013; 121(10):1111-9.
25. Lee D, Bnner T. Perceived temperature in the course of climate change: an analysis of global heat index from 1979-2013. *Earth Syst. Sci. Data.* 2015; 7:193-202.
26. Ho H, Knudby A, Xu Y, et al. A comparison of urban heat islands mapped using skin temperature, air temperature, and apparent temperature (Humidex), for the greater Vancouver area. *Sci Total Env.* 2016; 544:929-38.
27. Steadman R. The Assessment of Sultriness. Part II: Effects of Wind, Extra Radiation and Barometric Pressure on Apparent Temperature. *J Appl Meteorol.* 1979; 18:874-85.
28. Steadman R. A Universal Scale of Apparent Temperature. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 1984; 23:1674-87.
29. Fanger P. Thermal comfort. Copenhagen: Danish Technical Press; 1970.
30. Diego-Mas JA. Evaluación del Confort Térmico con el Método De Fanger. Valencia: Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia; 2015.
31. Kvisgaard B. Thermal comfort. Ballerup: INNOVA Air Tech Instruments; 2000.
32. SSL. Cuadernillo informativo de PRL: Temperaturas extremas. Madrid: Secretaría de Salud Laboral; 2012.
33. Fernández GF. Propuesta de un índice de confort relativo diario para determinar los extremos térmicos en la España peninsular. *Estud. Geogr.* 2002; 63:248-9.
34. Méndez HLM, Peña MJA. Manual práctico para el diseño de la escala Likert. Monterrey: Trillas S.A. de C.V.; 2006.
35. Olesen BW. Guidelines for comfort. *Ashrae Journal* 2000; 42(8):41-6.
36. Patania F, Gagliano A, Nocera F, et al. Thermal comfort analysis of public transport passengers in Catania. En: Longhurst JWS, C.A. Brebbia CA. *Air Pollution XX. WIT Transactions on Ecology and the Environment.* Southampton, UK: WIT Press; 2012.
37. Lin T, Hwang R, Huang K, et al. Passenger thermal perceptions, thermal comfort requirements, and adaptations in short- and long-haul vehicles. *Int J Biometeorol.* 2010; 54(3):221-30.
38. Cámara Díez, E. Variables meteorológicas y salud. Comunidad de Madrid. Madrid, España, 2006.