

CIUDAD Y TERRITORIO

ESTUDIOS TERRITORIALES

ISSN(P): 1133-4762; ISSN(E): 2659-3254

Vol. LV, N° 216, verano 2023

Págs. 431-444

<https://doi.org/10.37230/CyTET.2023.216.9>

CC BY-NC-ND



Efecto de las características morfológicas de los cañones urbanos en el confort térmico de una ciudad árida de México

Gladys Adriana ACOSTA-FERNÁNDEZ ⁽¹⁾Karen Estrella MARTÍNEZ-TORRES ⁽²⁾Peter CHUNG-ALONSO ⁽³⁾Jesús Abelardo LICÓN-PORTILLO ⁽⁴⁾⁽¹⁾ Maestra en Arquitectura, Urbanismo y Diseño⁽²⁾ Profesora Investigadora de tiempo completo⁽³⁾ Profesor y jefe de la división de Estudios de Posgrado e Investigación. Campus Colima⁽⁴⁾ Profesor. Campus Chihuahua II^{(1) (2)} Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño. Universidad Autónoma de Baja California^{(3) (4)} Tecnológico Nacional de México

Resumen: En los últimos años se ha investigado la urbanización y distribución del uso de suelo y su impacto en el microclima, debido a la estructura urbana, los materiales empleados y la falta de vegetación. El presente estudio tiene por objetivo analizar los efectos de la morfología de los cañones urbanos (relación aspecto, orientación y vegetación), y el impacto sobre el confort térmico. Se evaluaron cuatro cañones urbanos y los resultados indican que la orientación y la configuración espacial de cada cañón influye en cada uno de los parámetros climáticos asociados al índice PET (*Physiological Equivalent Temperature*). La información obtenida permitirá establecer acciones desde la planificación urbana y territorial para generar soluciones asociadas al consumo de energía y mejorar la salud de los habitantes evitando el estrés térmico y los golpes de calor.

Palabras clave: Cañones urbanos; Zona Climática Local; Factor de Cielo Visible; Temperatura Fisiológica Equivalente.

Recibido: 20.06.2022; Revisado: 28.11.2022

Correo electrónico (1): gladys.acosta@uabc.edu.mx N° ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0935-7471>Correo electrónico (2): karen.martinez24@uabc.edu.mx N° ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6744-8622>Correo electrónico (3): peter.chung@colima.tecnm.mx N° ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3724-1938>Correo electrónico (4): jesus.licon@cimav.edu.mx N° ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2091-1103>

Los autores agradecen los comentarios y sugerencias realizados por los evaluadores anónimos, que han contribuido a mejorar y enriquecer el manuscrito original.

Effects of the morphological characteristics of urban canyons on the thermal comfort of an arid city in Mexico

Abstract: In recent years, urban microclimate research on urbanization and land use distribution has predominated. Consequently, research has focused on understanding the microclimate impacts of urban structures, materials, and vegetation. The present study aims to analyze the effects of urban canyons morphology (aspect ratio, orientation, and vegetation) and their impact on thermal comfort. Four urban canyons were evaluated, and the results indicate that each canyon's orientation and spatial configuration influence the climatic parameters associated with the PET (Physiological Equivalent Temperature) index. The information obtained will make it possible to establish actions from urban and territorial planning to generate energy consumption solutions and improve the inhabitants' health by avoiding thermal and heat stress.

Keywords: Urban Canyon; Local Climate Zone; Sky View Factor; Physiological Equivalent Temperature.

1. Introducción

Más del 50% de la población mundial habita en las ciudades (TONG & al., 2017), sin embargo las proyecciones para los próximos años, indican un aumento de la población que habita en ellas, lo que ocasionará un sobrecalentamiento urbano, conocido como Isla de Calor Urbana (ICU), que se caracteriza por el incremento de temperatura en el área urbana a diferencia de sus alrededores (AFLAKI & al., 2017). Esta creciente urbanización ha desencadenado afectaciones en el confort térmico. Este término hace referencia a la "condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico" (ANSI/ASHRAE_55, 2017), y es determinado por condiciones climáticas y factores personales, los cuales alteran el proceso de intercambio de calor sobre el cuerpo humano (JAMEI & RAJAGOPALAN, 2017). Por lo que las afecciones del incremento de temperatura en las ciudades, se manifiestan a través de golpes de calor y estrés térmico, lo que se vincula a casos de morbilidad y mortalidad por el sobrecalentamiento del ambiente urbano (MOLENAAR & al., 2016). El confort térmico involucra elementos que inciden en el microclima de las ciudades, tal es el caso de la orientación de la traza urbana, la altura de las edificaciones, y la vegetación que complementa el entorno urbano. Sin embargo, al modificar alguno de estos elementos, se presentan alteraciones, como el aumento de la temperatura en el ambiente, que se debe principalmente a la reducción de vegetación y la prevalencia de superficies de bajo albedo, que en conjunto con la influencia de la morfología urbana, la radiación solar, el factor de cielo visible (SVF, *Sky View Factor*), y la densidad de construcción (TONG & al., 2017), afectan a la temperatura del aire (GOLASI & al., 2018) incrementando los riesgos en la salud y el bienestar humano (DZYUBAN & al., 2022) ya que la frecuencia e intensidad de temperaturas

elevadas dan origen a los golpes de calor y estrés térmico (MORAKINYO & LAM, 2016), lo que deteriora la calidad de vida.

Recientemente algunos estudios se enfocan en el uso de índices térmicos asociados a condiciones microclimáticas, que derivan del balance de energía del cuerpo humano (LOBACCARO & al., 2019). Un estudio realizado por POTCHTER & al., (2018) demostró que la temperatura fisiológica equivalente (PET, *Physiological Equivalent Temperature*) se ha utilizado como un índice de percepción y sensación desde 2003, por lo cual, se encuentra dentro de los tres primeros índices de mayor uso en estudios relacionados al confort térmico en espacios abiertos. HOPPE, (1999, p.73), define al índice térmico PET, como "la temperatura del aire a la que se mantiene el balance térmico del cuerpo humano con temperatura central y de la piel iguales a las condiciones que se evalúan". Por lo que este índice ha sido utilizado para caracterizar condiciones de confort en espacios abiertos (MAKAREMI & al., 2012), lo que determina la percepción de confort térmico y grado de estrés fisiológico al que se encuentra expuesto una persona.

A lo largo de los últimos años las investigaciones que evalúan la relación de los cañones urbanos y el confort térmico han incrementado (CHATZIDIMITRIOU & YANNAS, 2017; DENG & WONG, 2020; JAMEI & RAJAGOPALAN, 2017, 2019; LOBACCARO & al., 2019; MUNIZ-GÁAL & al., 2020; TONG & al., 2017), por influencia del incremento de temperaturas y cambio climático, así como la preocupación de las personas que habitan el espacio (MUNIZ-GÁAL & al., 2020; TONG & al., 2017). Por lo que la morfología urbana ha tomado relevancia en estudios urbanos a nivel de microescala. Para el análisis se ha utilizado la clasificación de un entorno urbano por medio de Zonas Climáticas Locales (ZCL), que permite una agrupación climática a microescala que ordena y etiqueta una zona de acuerdo al tipo de

superficie y construcción que la distingue (STEWART & OKE, 2012), además, se consideran la altura de los edificios y la vegetación (CHINESE UNIVERSITY OF HONG KONG, 2012). Por lo que las ZCL están constituidas por un conjunto de cañones urbanos, los cuales son considerados pequeñas unidades del microclima urbano, delimitadas por las fachadas y altura de los edificios, en donde interactúan múltiples variables relacionadas al confort térmico. Además, los cañones urbanos se ven afectados por la reflexión de la radiación que queda atrapada en la calle y que genera un sobrecalentamiento a nivel de microescala (MOHAJERANI & al., 2017).

En tanto, la geometría del cañón toma un papel relevante en la formación de microclimas, determinados por la orientación y la relación aspecto (H/W), el cual es un concepto que se refiere a la relación entre la altura de las paredes del cañón (H) y el ancho del mismo (W) (OKE, 1988). Estos dos parámetros influyen sobre la radiación solar y el sombreado que se proyecta en las superficies, así como en el flujo del viento y la temperatura (DENG & WONG, 2020).

1.1 Configuración del cañón urbano

Hu & al., (2020) exponen que las métricas de clasificación en cañones urbanos deben considerar tres factores principales: la morfología del cañón urbano, el SVF y la orientación. La relación aspecto

(H/W) es la proporción de la altura promedio de las fachadas de los edificios (H) con el ancho del cañón (W) (AHMAD & al., 2005; RIDHA, 2018), lo que lo convierte en la principal característica de la geometría del cañón urbano. Por lo anterior, AHMAD & al., (2005) establecieron una clasificación de la tipología de cañones urbanos en función de la morfología. (Fig. 1).

En cuanto a la orientación de los cañones urbanos algunos estudios han determinado este factor como un aspecto clave para estimar las condiciones de confort térmico, debido a que es un elemento fundamental para regular el acceso solar y velocidad del viento, ya que estos dos parámetros influyen directamente en el confort térmico (BHASKAR & MUKHERJEE, 2017; JAMEI & RAJAGOPALAN, 2019; LIMONA & al., 2019). Autores como LOBACCARO & al., (2019), mencionan que en ciudades compactas de poca altura ubicadas en latitud norte, los cañones urbanos con orientación noroeste - sureste, presentan un rango de confort térmico ligeramente cálido en comparación con el resto de las orientaciones evaluadas. Mientras que en un estudio llevado a cabo por ACERO & al., (2021), se demostró que en un clima tropical de latitud norte, las orientaciones noreste -suroeste, son las que presentan los niveles más deficientes de confort térmico en horarios vespertinos, debido al poco flujo de aire y a la trayectoria solar que incide en esta orientación, lo que detona altos niveles de estrés térmico después de la captación solar máxima, lo que demuestra que la orientación de

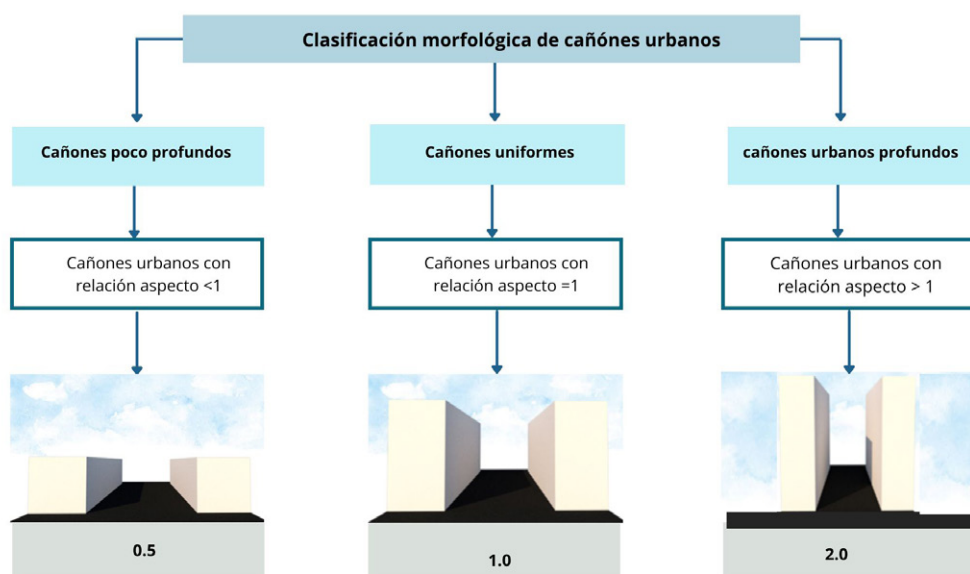


FIG. 1/ Clasificación de cañones urbanos

Fuente: Elaboración propia

los cañones urbanos es relevante para el confort térmico de los entornos urbanos en conjunto con la morfología de los cañones urbanos.

Por otro lado, el SVF es un parámetro utilizado para evaluar condiciones micro meteorológicas desde una perspectiva de calle, ya que es conocido como el ángulo de visión del cielo que abarca hasta 180° desde el nivel de suelo, por lo que a través de él, se pueden determinar los flujos de radiación solar que inciden en un entorno urbano (OKE, 1981; QAID & al., 2018), además, se puede estimar el sombreado proveniente de la vegetación y las edificaciones urbanas, a partir de un valor específico entre 0 a 1, en donde 0 representa la obstrucción y el 1 es equivalente a cielo despejado, por tanto un valor cercano a 1 representa poca obstrucción del ángulo de visión (AHMADI VENHARI & al., 2019). Otro de los aspectos que conforman la configuración del cañón urbano son los materiales utilizados en el suelo, el color y su permeabilidad, la cual está condicionada por el tipo de recubrimiento de las superficies. Además, en el estudio del cañón urbano se debe considerar la presencia de vegetación, su densidad y altura, así como la densidad y altura de las edificaciones (ABD ELRAOUF & al., 2022; DISSANAYAKE & al., 2021; MAHMOUD & GHANEM, 2019)

1.2 Evaluación de cañones urbanos

La evaluación del confort térmico en cañones urbanos es un proceso complejo asociado al balance energético debido a los flujos de radiación y viento que recibe el cuerpo humano (JAMEI & RAJAGOPALAN, 2019), por lo que una de las herramientas para evaluar el microclima urbano a nivel de calle es ENVI-met, una herramienta desarrollada por BRUSE, (1999) basada en modelos tridimensionales, que simula condiciones climáticas en

entornos urbanos y evalúa el confort térmico (ALI-TOUDERT & MAYER, 2007). Sin embargo, ENVI-met presenta algunas limitaciones derivadas del tipo de licencia, que se refleja en la capacidad de cómputo a la que se tenga acceso, además debido a la superficie a evaluar, se debe configurar un mallado, que a mayor superficie requiere mayor tiempo de simulación. En algunos casos el programa tiende a sobreestimar algunos valores, por lo que es indispensable validar el modelo para determinar la raíz del error medio cuadrático. Otro de los programas de mayor uso en el estudio de cañones urbanos es RayMan, el cual es un modelo a micro escala utilizado para calcular flujos de radiación relacionados al SVF (MATZARAKIS & al., 2010).

Por lo anterior, el objetivo de investigación es evaluar las condiciones de confort térmico por medio de ENVI-met y RayMan, en cañones urbanos, considerando las orientaciones de la traza urbana del área de estudio, con la finalidad de determinar la configuración espacial que mayor impacto tiene sobre el grado de confort térmico.

2. Metodología

Considerando el propósito de esta investigación, el método se divide en dos etapas. En la primera etapa se realizaron las campañas de monitoreo con la finalidad de reunir información micrometeorológica y datos de la configuración urbana del sitio, además, se capturaron fotografías de los distintos cañones seleccionados. Mientras que en la segunda etapa se realizó la simulación de las condiciones de confort térmico de estos cañones urbanos mediante la herramienta ENVI-met. En la FIG. 2 se aprecia el proceso metodológico utilizado en la presente investigación.

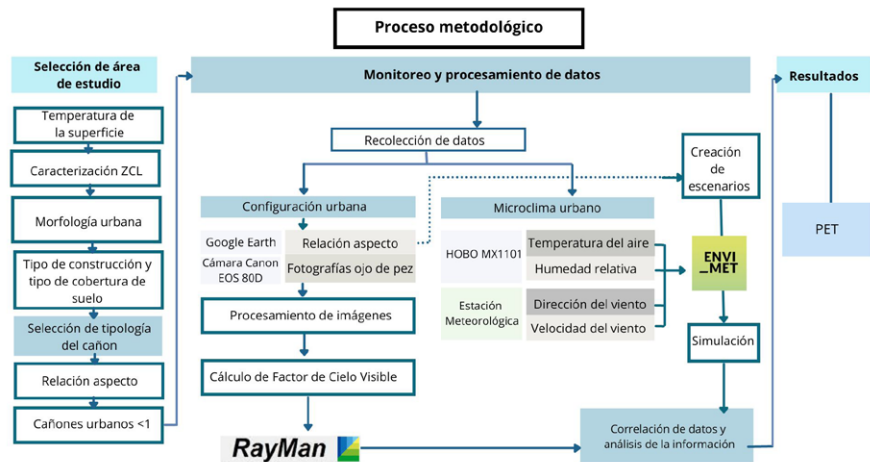


FIG. 2/ Proceso metodológico

Fuente: Elaboración propia

2.1 Área de estudio

La investigación se desarrolló en la ciudad de La Paz, que es la capital del Estado de Baja California Sur. El emplazamiento nacional sitúa a la ciudad al noroeste de México. Respecto a su ubicación las coordenadas geográficas de la ciudad de La Paz son: 24° 08' 32" latitud norte, 110° 18' 39" longitud oeste, situado a 27 msnm (metros sobre el nivel del mar). De acuerdo a la adaptación climática de la versión de Köppen para territorio mexicano, elaborada por GARCÍA, (2004), determina que el clima de la ciudad de La Paz es de tipo árido- seco. El sitio se caracteriza por presentar largos periodos de calor y bajo nivel de precipitación anual, que de acuerdo con las Normales Climatológicas (1981-2010) correspondientes a la estación #00003074 presentadas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es de 183,6 mm anuales, mientras que para el mes de agosto que corresponde al mes más cálido se registraron temperaturas máximas y mínimas mensuales de 39,8 °C y 22,1 °C respectivamente.

Para el proceso de selección de los cañones urbanos y los puntos de monitoreo, primero se identificó por medio de un mapa térmico los sitios con mayor presencia de temperatura superficial en un día típico de verano. Posteriormente se identificaron las características de las ZCL de estos sitios, considerando un radio entre 200 y 500 m como lo indican STEWART & OKE, (2012) en la publicación "zonas climáticas locales para estudios de temperatura urbana" en la que establecen que de acuerdo a las características de

recubrimiento y tipo de construcción del sitio se puede clasificar una ZCL. En la ciudad se observan características morfológicas similares, debido a la configuración de la ciudad. Por lo que la clasificación establecida refiere a una zona compacta de poca altura, caracterizada por edificaciones de 1 a 3 niveles, en la que predominan suelos con pavimento, escasa vegetación y uso de materiales de construcción como el concreto y el ladrillo. Una vez determinada la ZCL que predomina en la ciudad, se definieron los cañones urbanos a partir de rasgos morfométricos que cumplen con los estándares espaciales establecidos por OKE, (2004), como la dimensión de los edificios, el ancho de las calles que conforman la estructura urbana, la orientación, los materiales de construcción y el recubrimiento del suelo (FIG. 3).

La ciudad de La Paz se caracteriza por calles y plazas ortogonales, y la llanura es la principal característica de la ciudad (LIZÁRRAGA, 2013). Además, predominan edificaciones de poca altura, predios amplios, pavimentación con asfalto y poca cobertura vegetal. A partir de las características de la traza urbana que rige a la ciudad de La Paz, así como la configuración espacial de los cañones urbanos, se identificó que en la ZCL predominan los cañones urbanos con relación aspecto >1 (cañones poco profundos) con orientaciones noreste-suroeste y noroeste-sureste respectivamente. Considerando lo anterior, se realizaron dos campañas de monitoreo en dos cañones urbanos con orientación noreste-suroeste, y otras dos en cañones urbanos con orientación noroeste-sureste (FIG. 4).

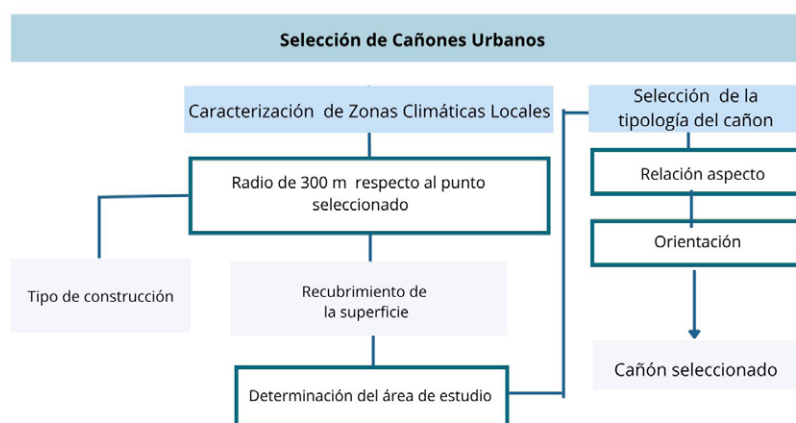


FIG. 3/ Selección de cañones urbanos

Fuente: Elaboración propia

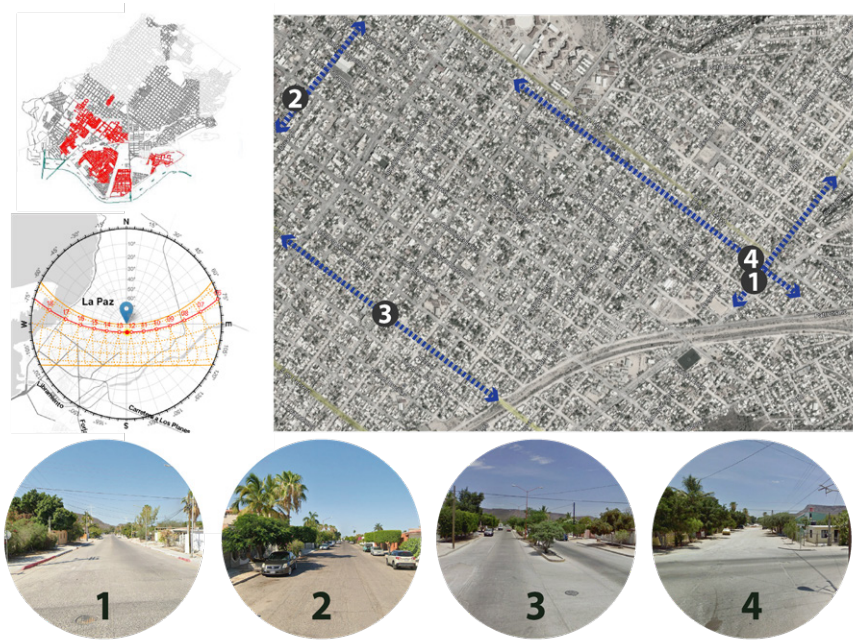


Fig. 4/ Traza urbana y localización de cañones urbanos

Fuente: Elaboración propia

2.2 Campañas de monitoreo

El monitoreo de las condiciones físicas y climáticas se llevó a cabo durante el periodo de verano, debido a las altas temperaturas que se presentan y que a su vez impactan el confort térmico del área de estudio (Fig. 5). La recolección de datos se realizó en los meses de julio y agosto, ya que estos

corresponden a los registros más elevados de temperatura. Debido a la limitación de equipos de monitoreo y a la limitación de tiempo para evaluar el área de estudio, el proceso de monitoreo fue dividido en 4 campañas, distribuidas durante los días del 29 julio al 11 de agosto de 2021. Por tanto, una vez seleccionados los cañones urbanos se determinó que cada campaña se realizaría durante tres

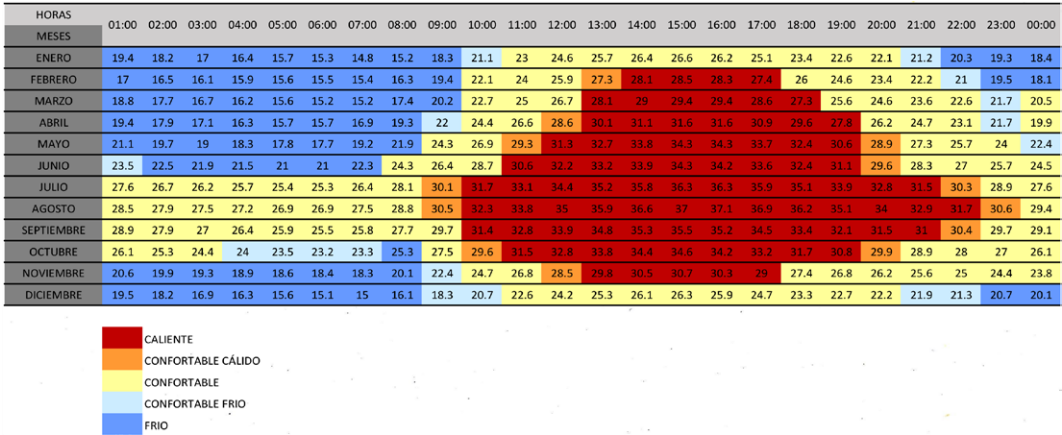


Fig. 5/ Temperatura anual de la ciudad de La Paz, Baja California Sur, México

Fuente: Elaborado a partir de hoja de cálculo diseñada por el Dr. Aníbal LUNA LEÓN¹ y Dr. Marcos Eduardo GONZÁLEZ TREVIJO²

¹ Dr. Aníbal Luna León. Profesor-Investigador de Tiempo Completo de la Universidad Autónoma de Baja California.

² Dr. Marcos E. González Trevizo. Profesor-Investigador de Tiempo Completo de la Universidad Autónoma de Baja California.

días en cada punto seleccionado. Durante cada campaña realizada se utilizaron tres sensores de temperatura del aire y humedad relativa (HOBO mx 1101 y HOBO onset U12) y una estación meteorológica (datos de temperatura del aire, humedad relativa, velocidad y dirección del viento), los cuales se instalaron en diferentes puntos a lo largo de los cañones urbanos. Los instrumentos empleados cumplen con los rangos de medición y precisión establecidos en la ISO-7726 (1998).

Las campañas de monitoreo 1 y 2 se realizaron en la orientación noreste – suroeste, sin embargo, presentan una configuración distinta. En la primera campaña de monitoreo se detectó que la relación aspecto del cañón urbano fue de 0,21 (cañón poco profundo), además, se caracteriza por el uso de concreto hidráulico en el arroyo vehicular, y poco porcentaje de recubrimiento en banquetas. En cuanto a la segunda campaña de monitoreo se identificó que el cañón urbano presenta una relación aspecto de 0.21 (cañón poco profundo), y uso

de pavimentación de asfalto en el arroyo vehicular, además destaca el porcentaje de recubrimiento de concreto en banquetas. En la FIG. 6 se observan los valores y porcentajes de las superficies que predominan en las zonas de estudio 1 y 2.

En cuanto a las campañas de monitoreo 3 y 4 coinciden en una orientación noroeste – sureste, pese a contar con configuraciones distintas. En la tercera campaña de monitoreo se determinó que el cañón urbano presentaba una relación aspecto de 0,13 (cañón poco profundo), y se caracterizaba por presentar recubrimiento de concreto en el arroyo vehicular. Por último, la cuarta campaña se realizó en un cañón urbano con relación aspecto de 0,19 (cañón poco profundo), este cañón se diferenciaba del resto al no presentar pavimentación en la superficie del arroyo vehicular, por tanto, el recubrimiento de la superficie del cañón urbano es arena. En la FIG. 7 se pueden observar los porcentajes de las superficies que predominan en los cañones urbanos 3 y 4.

Cañones con orientación noreste-suroeste				
Descripción	Campaña 1 (29 de julio al 01 de agosto)		Campaña 2 (01 de agosto al 04 de agosto)	
	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje
Asfalto	-	-	2468,6 m ²	14 %
Concreto hidráulico	1234,8 m ²	26,8%	-	-
Banqueta	232,9 m ²	5,06%	87, m ²	5,0 %
Área de edificación	3024,0 m ²	65,8%	6682,43 m ²	38,06 %
Arena	102,0 m ²	2,22%	-	-
Área total	4593,7 m ²	100%	17 554,9 m ²	100 %
Fachada	762 m ²	-	1397,3 m ²	-

FIG. 6/ Cañones con oriente noreste - suroeste

Fuente: Elaboración propia

Cañones con orientación noroeste-sureste				
Descripción	Campaña 3 (05 de agosto al 08 de agosto)		Campaña 4 (08 de agosto al 11 de agosto)	
	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje
Asfalto	-	-	-	-
Concreto hidráulico	1974,4 m ²	19,9 %	-	-
Banqueta	391,7 m ²	3,9 %	32,0 m ²	0,05%
Área de edificación	3237,5 m ²	32,7 %	4160 m ²	70,8%
Arena	4295,7 m ²	43,3 %	1680,8 m ²	28,61%
Área total	9899,1 m ²	100 %	5872,0m ²	100%
Fachada	583,7 m ²	-	702 m ²	-

FIG. 7/ Cañones con oriente noroeste-sureste

Fuente: Elaboración propia

2.3 Factor de cielo visible

Respecto al SVF, la colocación del equipo para la captura de imágenes con lente ojo de pez, consideró la metodología realizada por (MIDDEL & al., 2017), quienes definieron el proceso de acuerdo con lo establecido en la ISO-7726, (1998), y se consideraron las recomendaciones para el uso del programa RayMan (MATZARAKIS & al. 2006, 2009), el cual es un modelo a microescala desarrollado por Albert LUDWIG, para calcular flujos de radiación en distintos entornos y fue requerido para calcular el SVF. Por lo que previamente fue necesario procesar las imágenes capturadas de los cañones urbanos. Posteriormente en el programa, se ingresaron los datos de la fotografía (fecha, día del año y hora local) así como la ubicación donde fue capturada (latitud, longitud, elevación y zona horaria), para finalmente realizar el cálculo de SVF, el cual se determina por medio de una distinción entre el área cubierta por obstáculos y el área que queda despejada, mediante una distinción de píxeles que a su vez realiza un factor de ponderación el cual ajusta el impacto del píxel al ángulo del Zenit (MATZARAKIS, 2018).

2.4 Simulación y validación

Para llevar a cabo la simulación se utilizó el programa de *ENVI-met*, el cual es un modelo que se basa en la dinámica de fluidos para modelar la interacción entre atmósfera y superficie, con el entorno construido. En este programa se ingresaron datos de: temperatura del aire, velocidad del viento, y humedad relativa, información necesaria para simular el microclima del sitio. Sin embargo, este programa está compuesto por múltiples módulos. Iniciando el proceso en el módulo de *spaces* en donde se llevó a cabo la elaboración del modelo (especificando dimensiones y materiales). Posteriormente en el módulo *albero*, se determinaron las características de vegetación. El proceso continuó con el módulo de *ENVI-guide*, el cual se caracteriza por el ingreso de la información meteorológica, previamente recopilada en las campañas de monitoreo, además en este módulo es en donde se especifica la duración de la simulación, que se realiza en el módulo de *ENVI-core*. Finalmente, en el módulo de *Biomet* se especificaron datos referentes al índice térmico de elección, parámetros fisiológicos, parámetros de arropamiento y metabolismo. Mientras que en el módulo de *Leonardo* se elaboraron las imágenes de interpretación del índice térmico a través de una escala colorimétrica.

Por otra parte, para la validación de datos y determinar la raíz del error medio cuadrático (RMSE, por sus siglas en ingles) y el error absoluto medio (MAE,

por sus siglas en inglés), se contrastaron los valores recolectados en la campaña de monitoreo con los obtenidos de la simulación realizada en ENVI-met. La validación se realizó a partir de los datos del día 07 de agosto de 2021. Considerando las fórmulas para calcular el RMSE (Ecuación 1) para validar el modelo (ALI & ABUSTAN, 2014).

Ecuación 1
Raíz del error cuadrático medio.

$$RMSE = \frac{\sqrt{1}}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2$$

3. Resultados y Discusión

3.1 Resultados de validación

Las ecuaciones expuestas anteriormente fueron utilizadas con los valores correspondientes a la

Temperatura del aire				
Fecha	Hora	Monitoreado	Simulado	
03.08.2021	01:00	29,4	27,2	4,6
03.08.2021	02:00	28,8	26,6	4,8
03.08.2021	03:00	28,5	26,5	4,0
03.08.2021	04:00	28,2	26,6	2,7
03.08.2021	05:00	27,9	26,3	2,5
03.08.2021	06:00	27,9	26,1	3,3
03.08.2021	07:00	27,6	26,1	2,4
03.08.2021	08:00	28,0	29,5	2,2
03.08.2021	09:00	30,0	31,9	3,6
03.08.2021	10:00	32,3	35,1	7,9
03.08.2021	11:00	33,9	37,6	13,6
03.08.2021	12:00	37,0	37,3	0,1
03.08.2021	13:00	38,8	39,8	0,9
03.08.2021	14:00	40,2	40,7	0,2
03.08.2021	15:00	41,4	41,2	0,0
03.08.2021	16:00	41,1	41,3	0,0
03.08.2021	17:00	33,9	41,9	64,4
03.08.2021	18:00	36,6	39,3	7,1
03.08.2021	19:00	34,0	34,3	0,1
03.08.2021	20:00	31,4	32,9	2,2
03.08.2021	21:00	30,0	32,1	4,5
03.08.2021	22:00	29,0	31,0	3,8
03.08.2021	23:00	28,5	30,0	2,3
Temperatura mínima		27,6	26,1	2,4
Temperatura media		32,4	33,1	0,5
Temperatura máxima		41,4	41,9	0,2
RMSE				2,4

FIG. 8/ Raíz del error cuadrático medio
Fuente: Elaboración propia

temperatura del aire monitoreado y con la temperatura del aire simulado, a una altura de 1.4 m. los valores monitoreados corresponden al 3 de agosto, debido a que los datos de recolección de ese día tenían similitud con los datos históricos registrados de un día típico del mes de agosto. En los resultados obtenidos se identificó que existe un coeficiente del RMSE= 2,40 °C (Fig. 8).

3.2 Factor de cielo visible

En cuanto a los valores obtenidos del procesamiento de imágenes Raymay permite tener resultados del SVF, en cada uno de los puntos donde se llevó a cabo la recolección de datos. Como se puede apreciar en la FIG. 9, los valores

del SVF varían según el cañón urbano. En el caso de la primera campaña de monitoreo el SVF reveló un valor de 0,69, lo que indica una apertura de cielo moderada, con poca obstrucción. Mientras que el resultado obtenido de la campaña número dos fue de 0,73, lo que demuestra que hay menor obstrucción de vegetación y edificaciones en el cañón urbano.

Para el caso de la tercera campaña de monitoreo se puede apreciar que el valor de SVF es de 0,82, lo que indica que existe un valor alto de apertura del cielo y por ende un valor que se traduce a un alto nivel de radiación ocasionado por la poca obstrucción del cielo. Por el contrario, en la cuarta campaña de monitoreo, se determinó que el valor de SVF es menor debido a la obstrucción de vegetación y edificaciones del sitio.




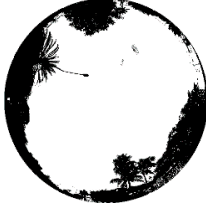

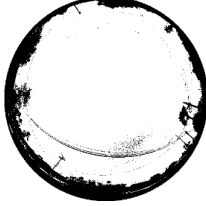


Campaña	Fotografías del estado actual	SVF
1		 0.69
2		 0.73
3		 0.82
4		 0.71

FIG. 9/ Factor de cielo visible

Fuente: Elaboración propia

3.3 Relación entre las orientaciones de los cañones y PET

Los resultados obtenidos en cuanto a PET se concentran en la FIG. 10. Los valores indican que la temperatura fisiológica equivalente media es menor en el cañón monitoreado durante la campaña 2, mientras que en el cañón urbano de la campaña 4 presenta la temperatura media más alta.

Por el contrario, en los valores referentes a la temperatura mínima alcanzada, estos se presentaron en la campaña de monitoreo 1 (23,0 °C), mientras que el cañón referente a la campaña 4 presentó los valores más altos de temperatura mínima (21,6 °C). Por último, los valores de PET máximos alcanzados, se presentaron en el cañón que corresponde a la campaña 4.

Asimismo, es evidente que las temperaturas mínimas se presentan de las 01 h a las 06 h, en todos los cañones urbanos en donde las condiciones se mantienen dentro de la escala de confort, a excepción del cañón que corresponde a la primera campaña de monitoreo, en donde la clasificación de PET oscila entre caliente y muy caliente. A pesar de mantener condiciones de PET, confortables, a partir de las 07 h los cañones comienzan a incrementar sus valores hasta alcanzar su valor máximo en las horas críticas (14 h – 18 h), en donde de acuerdo con la clasificación de la sensación de PET, las condiciones que se presentan son determinadas como calientes y muy calientes. En la FIG.10 también se puede apreciar que existe una tendencia en todos los cañones de disminuir sus valores a partir de las 18 h, hasta alcanzar un rango de temperatura ligeramente cálido.

Variable		Monitoreo			
		Campaña 1	Campaña 2	Campaña 3	Campaña 4
PET	Min	23.0	21.3	21.4	21.6
	Q1	36.0	22.3	24.4	23.2
	Media	38.4	28.0	36.7	37.9
	Mediana	39.2	27.7	32.0	31.5
	Q3	43.3	33.1	49.8	54.1
	Máx	50.7	36.5	55.8	63.2
	Desviación	8.2	5.5	13.0	15.5

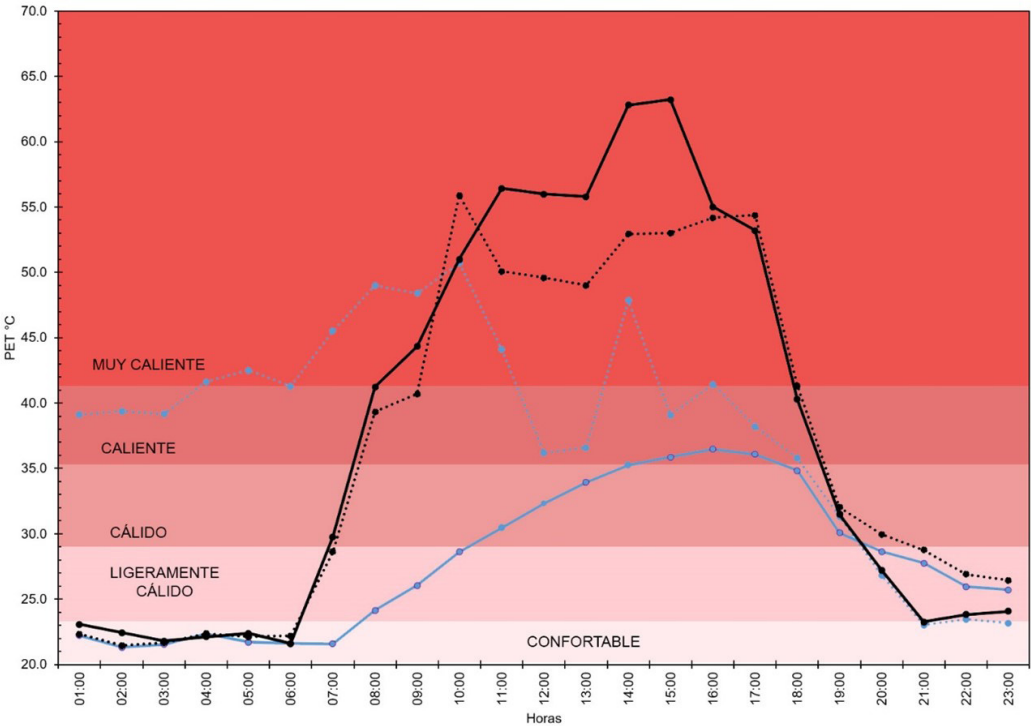


FIG. 10/ Temperatura fisiológica equivalente

Fuente: Elaboración propia

3.4 Orientación noreste-suroeste y confort térmico

Respecto a la influencia de la orientación noreste-suroeste, los resultados demostraron que en las campañas 1 y 2, los valores de PET presentaron valores inferiores respecto a la orientación noroeste-sureste. En el cañón que corresponde a la segunda campaña de monitoreo, se identificó una temperatura media de 28,0 °C, un valor del SVF de 0,73 y una relación aspecto de 0,21. Por otro lado, el cañón que corresponde a la primera campaña de monitoreo presentó un valor del SVF de 0,69, una relación aspecto de 0,21 y una temperatura media 38,4 °C (10 °C, más que el cañón anterior). Por lo que a pesar de presentar la misma relación aspecto y orientación existe una influencia de la configuración del cañón urbano y el SVF, sobre el confort en los cañones urbanos.

3.5 Relación entre cañones con orientación NO-SE y PET

En cuanto a los valores que corresponden a los cañones urbanos con orientación noroeste-sureste, se refleja la presencia del incremento de PET, en relación con los cañones urbanos que fueron monitoreados en las campañas 3 y 4. Pese a esto el cañón urbano monitoreado durante la campaña 4 presenta los valores de PET más críticos, ya que su temperatura media es de 37,9 °C (Fig. 11), pese a contar con valor de SVF de 0,71 y una relación aspecto de 0,19. En cambio, el cañón urbano monitoreado en la campaña 3, presentó una temperatura media de 36,7 °C (1,2 °C menor que

el cañón que corresponde a la campaña de monitoreo 4), además su relación aspecto es de 0,13 y el valor del SVF es de 0,82.

3.6 Discusión

Los hallazgos encontrados en este estudio, demuestran que los cañones urbanos cuya orientación es noreste – suroeste presentan mejores condiciones de PET en comparación con los cañones cuya orientación es noroeste-sureste, debido a que se identificó que la temperatura máxima alcanzada en los cañones urbanos con esta orientación oscila entre 55,8 – 63,2 °C, mientras que en los cañones monitoreados en las campañas 1 y 2 presentan un valor máximo que oscila entre 36,5 – 50,7 °C, lo que determina que la orientación de los cañones tiene una influencia relevante sobre el confort térmico, esto puede deberse a la influencia de la radiación solar.

Si bien los dos cañones con orientación noreste-suroeste (campaña 1 y 2) presentan las mismas condiciones en cuanto a la relación aspecto, no presentan los mismos valores de SVF, ni las mismas características de configuración, ya que el cañón urbano monitoreado en la campaña 2 presenta mayor superficie de edificación en comparación con el cañón monitoreado en la campaña 1, lo que influye en la proyección de sombra hacia la superficie. Estos resultados coinciden con los hallazgos expuestos por SRIVANIT & JAREEMIT (2020) quienes determinaron que los cañones urbanos con orientación noreste-suroeste, son los cañones que presentan las mejores condiciones de confort térmico. Mientras que investigadores como ACERO & al. (2021), quienes

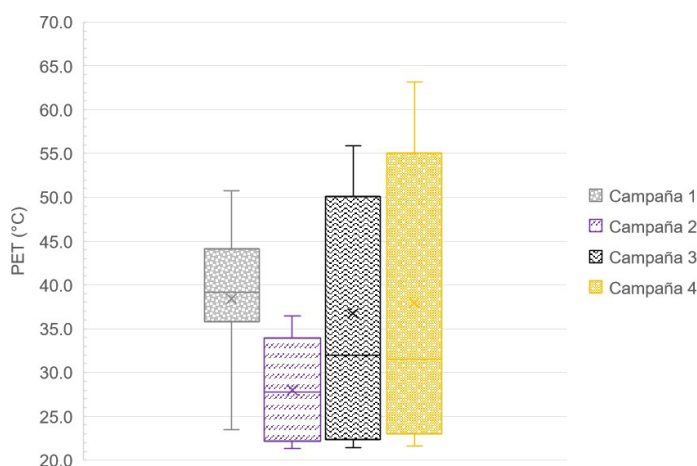


FIG. 11/ Concentración de datos simulados

Fuente: Elaboración propia

pertenecen al Centro de Detección y Modelado Ambiental (CENSAM), señalan que los cañones urbanos cuya orientación noreste - suroeste, presentan los rangos de confort más deficientes.

Por otro lado en los cañones urbanos con orientación noroeste – sureste, las condiciones térmicas fueron distintas, debido a que en estos cañones se observó un incremento en los valores de PET, a pesar de contar con relación aspecto y valores de SVF distintos, en ambos casos las condiciones térmicas son desfavorables, lo que se asemeja a los hallazgos obtenidos por LOBACCARO & al. (2019), en donde se determinó que, en áreas compactas de poca altura, los cañones que son caracterizados por esta orientación (noroeste – sureste) presentan un rango de confort más cálido que el resto de las orientaciones. Por tanto, se coincide con la postura de OKE (1981) que hace referencia de que el SVF, es pieza clave desde una perspectiva bioclimática, debido a que a través de este factor se pueden determinar los flujos de radiación solar que influyen en el entorno urbano.

Desde otra perspectiva, en cuanto los valores de PET, los hallazgos revelaron que durante el transcurso de la madrugada (01 h – 06 h) en todos los cañones urbanos simulados, se encontraron valores que de acuerdo a la escala propuesta por MOLENAAR & al. (2016), indican que existen condiciones de confort térmico, a excepción del cañón urbano que corresponde a la campaña 1 (orientación noreste – suroeste), en donde se encontraron valores que indican una sensación caliente a muy caliente. Sin embargo, a medida que transcurre el día se aprecia un incremento de los valores de PET (07 h – 18 h), lo que está relacionado con la exposición de radiación solar, y la configuración del cañón que hace referencia a la relación aspecto que se presenta en cada cañón urbano. Sin embargo, a partir de las 19 h, las condiciones mejoran y el PET disminuye en todos los cañones urbanos sin hacer distinción entre las orientaciones presentadas, alcanzando un rango ligeramente cálido.

Pese a que los valores de PET entre los distintos cañones urbanos no presentan condiciones confortables permanentes, debido a que esta condición varía a lo largo del día, se aprecia una tendencia de que la orientación y la configuración espacial de cada cañón influyen directamente en cada una de las variables meteorológicas que influyen sobre el PET.

4. Conclusiones

Esta investigación tuvo como principal propósito evaluar el efecto que tiene la orientación y

la configuración espacial de distintos cañones urbanos sobre el confort térmico en distintas tipologías de cañones urbanos en un clima árido seco, con el propósito de identificar la configuración que optimice las condiciones de confort en los cañones urbanos.

Lo anterior, deriva en la pregunta de investigación: ¿qué tipo de configuración de un cañón urbano optimiza el nivel de confort? Además, para responder este cuestionamiento se requiere comprender la influencia de la orientación y la relación aspecto del cañón urbano, así como la influencia que tiene el SVF, lo que conlleva a los siguientes cuestionamientos:

1. ¿Cuál es el efecto que genera la orientación sobre el cañón urbano?
2. ¿Qué configuración espacial reduce los valores de PET?

La influencia que tiene la orientación sobre el confort térmico se ve relacionada al bloqueo de radiación solar, que es provocada por la relación aspecto en conjunto con la traza urbana que rige a la ciudad. Si bien la orientación es un elemento dentro del conjunto de factores de la geometría urbana, por sí sola no representa un factor determinante para la reducción de los valores de PET. Por el contrario, es un factor que actúa en conjunto para determinar el acceso de radiación solar y el porcentaje de sombra proyectada en la superficie. Por lo cual la relación aspecto determina la proyección de sombra que generan las edificaciones sobre el cañón, por ende, cuando la relación aspecto se incrementa, aumenta el porcentaje de superficie sombreada, y a su vez reduce la radiación solar. Sin embargo, de acuerdo con la orientación presentada en cada cañón urbano se delimita el ángulo de radiación que incide en un cañón urbano, y por consecuencia se origina un aumento o reducción de la Temperatura radiante media (MRT).

Respecto a la configuración espacial de los cañones urbanos, se puede concluir que la configuración óptima para la reducción de los valores de PET está relacionada a la distribución espacial que conforman las ZCL, principalmente porque la ciudad se caracteriza por una ZCL que corresponde a poca vegetación y mayor superficie construida, ya que son un elemento principal en la determinación del confort térmico en espacios urbanos y dan un panorama general del impacto térmico en la zona. Sin embargo, para determinar precisiones en el estudio del microclima urbano es necesario indagar en los factores morfológicos del sitio, tal es el caso de la relación aspecto y orientación del área de estudio, lo cual coincide con la postura tomada por ALLENDE & al., (2018) quienes consideran que la planeación

debe incluir una regulación térmica en torno a la zonificación urbana.

5. Bibliografía

- ABD ELRAOUF, R. & ELMOKADEM, A. & MEGAHED, N. & ABO ELEINEN, O. & ELTARABILI, S. (2022): The impact of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot-humid climate. *Building and Environment*, 225(September), 109632. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109632>
- ACERO, J. A. & KOH, E. J. Y. & RUEFENACHT, L. A. & NORFORD, L. K. (2021): Modelling the influence of high-rise urban geometry on outdoor thermal comfort in Singapore. *Urban Climate*, 36(November 2020), 100775. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100775>
- AFLAKI, A. & MIRNEZHAD, M. & GHAFARIANHOSEINI, A. & GHAFARIANHOSEINI, A. & OMRANY, H. & WANG, Z. H. & AKBARI, H. (2017): Urban heat island mitigation strategies: A state-of-the-art review on Kuala Lumpur, Singapore and Hong Kong. *Cities*, 62, 131–145. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.003>
- AHMAD, K. & KHARE, M. & CHAUDHRY, K. K. (2005): Wind tunnel simulation studies on dispersion at urban street canyons and intersections - A review. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 93(9), 697–717. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2005.04.002>
- AHMADI VENHARI, A. & TENPIERIK, M. & TALEGHANI, M. (2019): The role of sky view factor and urban street greenery in human thermal comfort and heat stress in a desert climate. *Journal of Arid Environments*, 166(July 2018), 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.04.009>
- ALI-TOUDERT, F. & MAYER, H. (2007): Erratum to "Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate" [Building and Environment 41 (2006) 94-108] [DOI:10.1016/j.buildenv.2005.01.013]. *Building and Environment*, 42(3), 1553–1554. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.12.013>
- ALI, M. H. & ABUSTAN, I. (2014): A new novel index for evaluating model performance. *Journal of Natural Resources and Development*, 2002, 1–9. <https://doi.org/10.5027/jnrd.v4i0.01>
- ALLENDE, F. & FERNÁNDEZ GARCÍA, F. & RASILLA ÁLVAREZ, D. & ALCAIDE MUÑOZ, J. (2018): Isla de calor nocturna estival y confort térmico en Madrid: avance para un planeamiento térmico en áreas urbanas. L(195), 101–120.
- BHASKAR, D. E. & MUKHERJEE, M. (2017): Optimizing street canyon orientation for Rajarhat Newtown, Kolkata, India. *Environmental and Climate Technologies*, 21(1), 5–17. <https://doi.org/10.1515/ruct-2017-0012>
- BRUSE, M. (1999): *Die Auswirkungen kleinskaliger Umweltgestaltung auf das Mikroklima*. 192.
- CHATZIDIMITRIOU, A. & YANNAS, S. (2017): Street canyon design and improvement potential for urban open spaces; the influence of canyon aspect ratio and orientation on microclimate and outdoor comfort. *Sustainable Cities and Society*, 33(February), 85–101. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.05.019>
- CHINESE UNIVERSITY OF HONG KONG, CUHK (2012): Urban climatic map and standards for wind environment feasibility study final report. In *Hong Kong Planning Department*. (Issue November). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5165.0000>
- DENG, J. Y. & WONG, N. H. (2020): Impact of urban canyon geometries on outdoor thermal comfort in central business districts. *Sustainable Cities and Society*, 53(November 2019), 101966. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101966>
- DISSANAYAKE, C. & WEERASINGHE, U. G. D. & DHARMASENA, J. (2021): Assessment of Thermal Comfort and Microclimate in Urban Street Canyons – A Review of Recent Research. *The IAFOR International Conference on Sustainability, Energy & the Environment – Hawaii 2021 Official Conference Proceedings*, 77–95. <https://doi.org/10.22492/issn.2432-8642.2021.6>
- DZYUBAN, Y. & CHING, G. N. Y. & YIK, S. K. & TAN, A. J. & BANERJEE, S. & CRANK, P. J. & CHOW, W. T. L. (2022): Outdoor thermal comfort research in transient conditions: A narrative literature review. *Landscape and Urban Planning*, 226(May), 104496. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104496>
- GARCÍA, E. (2004): Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. In *Instituto de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México*. <https://doi.org/10.2307/j.ctv1xxv3n.2>
- GOLASI, I. & SALATA, F. & DE LIETO VOLLARO, E. & COPPI, M. (2018): Coping with the demand of standardization in outdoor thermal comfort: a first approach to the Global Outdoor Comfort Index (GOCl). In *Building and Environment* (Vol. 130). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.021>
- HOPPE, P. (1999): The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43(2), 71–75.
- HU, C. B. & ZHANG, F. & GONG, F. Y. & RATTI, C. & LI, X. (2020): Classification and mapping of urban canyon geometry using Google Street View images and deep multitask learning. *Building and Environment*, 167(May 2019), 106424. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106424>
- JAMEI, E. & RAJAGOPALAN, P. (2017): Urban development and pedestrian thermal comfort in Melbourne. *Solar Energy*, 144, 681–698. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.01.023>
- _____. (2019): Effect of street design on pedestrian thermal comfort. *Architectural Science Review*, 62(2), 92–111. <https://doi.org/10.1080/00038628.2018.1537236>
- LIMONA, S. S. & AL-HAGLA, K. S. & EL-SAYAD, Z. T. (2019): Using simulation methods to investigate the impact of urban form on human comfort. Case study: Coast of Baltim, North Coast, Egypt. *Alexandria Engineering Journal*, 58(1), 273–282. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.02.002>
- LIZÁRRAGA. (2013): La configuración urbana de la ciudad de La Paz Baja California Sur desde la perspectiva de género. In *UABCS* (Issue 9).
- LOBACCARO, G. & ACERO, J. A. & MARTINEZ, G. S. & PADRO, A. & LABURU, T. & FERNANDEZ, G. (2019): Effects of orientations, aspect ratios, pavement materials and vegetation elements on thermal stress inside typical urban canyons. *International Journal of*

- Environmental Research and Public Health*, 16(19). <https://doi.org/10.3390/ijerph16193574>
- MAHMOUD H. & GHANEM H. (2019): Urban Geometry Mitigation Guidelines To Improve Outdoor Thermal Performance. *Journal of Engineering Sciences Assiut University Faculty of Engineering*, 47, 172–193.
- MAKAREMI, N. & SALLEH, E. & JAAFAR, M. Z. & GHAFARIANHOSEINI, A. H. (2012): Thermal comfort conditions of shaded outdoor spaces in hot and humid climate of Malaysia. *Building and Environment*, 48(1), 7–14. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.024>
- MATZARAKIS, A. (2018). *RayMan Pro*.
- ____ & RUTZ, F. & MAYER, H. (2007): Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - Application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, 51(4), 323–334. <https://doi.org/10.1007/s00484-006-0061-8>
- ____ & ROCCO, M. & NAJJAR, G. (2009): Thermal bioclimate in Strasbourg - The 2003 heat wave. *Theoretical and Applied Climatology*, 98(3–4), 209–220. <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0102-4>
- ____ & RUTZ, F., & MAYER, H. (2010): Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: Basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, 54(2), 131–139. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0261-0>
- MIDDEL A. & LUKASCZYK, J., & MACIEJEWSKI, R. (2017): Sky view factors from synthetic fisheye photos for thermal comfort outing—A case study in Phoenix, Arizona. *Urban Planning*, 2(1), 19–30. <https://doi.org/10.17645/up.v2i1.855>
- MOHAJERANI, A., JASON, B., & JEFFREY BAILEY, T. (2017): The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, 197, 522–538. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095>
- MOLENAAR, R. E. & HEUSINKVELD, B. G. & STEENEVELD, G. J. (2016): Projection of rural and urban human thermal comfort in The Netherlands for 2050. *International Journal of Climatology*, 36(4), 1708–1723. <https://doi.org/10.1002/joc.4453>
- MORAKINYO, T. E., & LAM, Y. F. (2016): Simulation study on the impact of tree-configuration, planting pattern and wind condition on street-canyon's micro-climate and thermal comfort. *Building and Environment*, 103, 262–275. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.025>
- MUNIZ GÁAL, L. P. & PEZZUTO, C. C. & CARVALHO, M. F. H. DE & MOTA, L. T. M. (2020): Urban geometry and the microclimate of street canyons in tropical climate. *Building and Environment*, 169(November 2019). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106547>
- NG, E. & YAU, R. & WONG, K. S. REN, C. & KATZSCHENER, L. (2012): Urban Climatic Map and Standards for Wind Environment Feasibility Study Final Report. *Hong Kong Planning Department.*, November, 518. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5165.0000>
- OKE, T. R. (1981): Canyon Geometry and the Urban Heat Island. *Journal of Climatology*, 1, 237–254.
- ____ (1988): Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*, 11(1–3), 103–113. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(88\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6)
- ____ (2004): Initial Guidance To Obtain Representative. In *Wmo Iom* (Issue 81).
- POTCHTER, O. & COHEN, P. & LIN, T. P. & MATZARAKIS, A. (2018): Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review of approaches, methods and quantification. *Science of the Total Environment*, 631–632, 390–406. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.276>
- QAID, A. & LAMIT, H. BIN & OSSEN, D. R. & RASIDI, M. H. (2018): Effect of the position of the visible sky in determining the sky view factor on micrometeorological and human thermal comfort conditions in urban street canyons. *Theoretical and Applied Climatology*, 131(3–4), 1083–1100. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-2023-3>
- RIDHA, S. J. (2018): Effect of Aspect Ratio and Symmetrical Distribution on Urban Design in Baghdad City, and the Impact of Greenery Strategies on improving Outdoor Thermal Comfort. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 151(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/151/1/012035>
- SRIVANIT, M. & JAREEMIT, D. (2020): Modeling the influences of layouts of residential townhouses and tree-planting patterns on outdoor thermal comfort in Bangkok suburb. *Journal of Building Engineering*, 30(July 2019), 101262. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101262>
- STEWART, I. D. & OKE, T. R. (2012): Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- TONG, S. & WONG, N. H. & TAN, C. L. & JUSUF, S. K. & IGNATIUS, M., & TAN, E. (2017): Impact of urban morphology on microclimate and thermal comfort in northern China. *Solar Energy*, 155, 212–223. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.06.027>

6. Referencias normativas y jurídicas

- ANSI/ASHRAE_55. (2017). Thermal environmental conditions for human occupancy. *ASHRAE Standard*, 7(55).
- ISO-7726. (1998). Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities. *Ergonomics*, 1998.

7. Listado de Acrónimos/Siglas

CENSAM:	Centro de Detección y Modelado Ambiental
CONAGUA:	Comisión Nacional del Agua
H/W:	Relación aspecto
ICU:	Isla de Calor Urbana
MAE:	Error Absoluto Medio
PET:	Temperatura Fisiológica Equivalente
RMSE:	Raíz del Error Medio Cuadrático
SVF:	Factor de Cielo Visible
MRT:	Temperatura radiante media
ZCL:	Zonas Climáticas Locales