

## Artificio

Revista en Ciencias de los Ámbitos Antrópicos  
Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción  
Universidad Autónoma de Aguascalientes, México.  
Núm. 4 (2023) periodo julio-diciembre

e-ISSN  
2992-7463

Site

[https://revistas.uaa.mx/  
index.php/artificio](https://revistas.uaa.mx/index.php/artificio)



## Mejoras para la Regulación Microclimática del Entorno Urbano del Antiguo Mercado Municipal de Mexicali, México.

*Improvements for Microclimatic Regulation  
of Urban Environment around the Former  
Municipal Market of Mexicali, Mexico.*

**Alan García-Haro**

Facultad de Arquitectura y Diseño,  
Universidad Autónoma de Baja California  
ORCID: 0000-0002-4302-6492  
[alan.haro@uabc.edu.mx](mailto:alan.haro@uabc.edu.mx)

Received: 2023-10-16

Accepted: 2023-11-10

### **Cómo citar este trabajo. How to cite this paper**

García-Haro, A. (2023). Mejoras para la Regulación Microclimática del Entorno Urbano del Antiguo Mercado Municipal de Mexicali, México. *Artificio* 4(4), eE1-eE19.



# Mejoras para la Regulación Microclimática del Entorno Urbano del Antiguo Mercado Municipal de Mexicali, México

Alan García-Haro

## Resumen

En entornos urbanos con clima desértico, las condiciones térmicas derivadas del incremento proyectado de temperaturas debido al cambio climático, el efecto de isla de calor urbana y las altas temperaturas que naturalmente se registran en la región, demandan estrategias de regulación microclimática en los espacios exteriores urbanos para reducir el estrés térmico de los usuarios y asegurar su óptimo funcionamiento. En este contexto, la presente investigación plantea una aproximación a la identificación del impacto microclimático de estrategias de diseño en los alrededores urbanos del Antiguo Mercado Municipal de Mexicali, México. Con este objetivo se plantearon tres etapas de análisis: 1) mediciones de campo para el análisis detallado del comportamiento térmico del estado actual de los espacios urbanos; 2) planteamiento de distintas estrategias y escenarios de diseño urbano para la mejora microclimática; y 3) evaluación de la influencia térmica de dichas estrategias mediante simulación térmica de exteriores en ENVI-met. Finalmente, los resultados presentan la efectividad de las estrategias de diseño urbano propuestas en torno a la movilidad y el uso recreativo de los espacios públicos. Donde se identificaron una serie de consideraciones que permiten una respuesta técnicamente justificada a la adaptación climática del entorno urbano del Antiguo Mercado Municipal de Mexicali.

**Palabras clave:** *clima urbano, diseño urbano, vulnerabilidad al cambio climático, simulación térmica de exteriores.*

## Abstract

In urban environments with a desert climate, the thermal conditions derived from the projected increase in temperatures due to climate change, the urban heat island effect, and the natural high temperatures in the region, demand microclimatic regulation strategies in urban outdoor spaces, to reduce thermal stress of users and ensure optimal conditions. In this context, the present research proposes an approach to the identification of the microclimatic impact of design strategies in the urban surroundings of the Former Municipal Market of Mexicali, Mexico. With this objective, three stages of analysis were proposed: 1) field measurements for detailed analysis of the thermal behavior of the current state of urban spaces; 2) approach to different strategies and urban design scenarios for microclimatic improvement; and 3) evaluation of the thermal influence of these strategies through outdoor thermal simulation in ENVI-met. Finally, the results present the effectiveness of the urban design strategies proposed around mobility and the recreational use of public spaces. Where a series of considerations were identified that allow a technically justified response to the climatic adaptation of the urban environment of the Former Municipal Market of Mexicali.

**Keywords:** *urban climate, urban design, climate change vulnerability, outdoor thermal simulation.*

## 1. Introducción

Este trabajo presenta una aproximación metodológica al análisis del comportamiento térmico actual y los posibles impactos microclimáticos de una serie de propuestas de mejora del entorno urbano del Antiguo Mercado Municipal de Mexicali, Baja California, México. Particularmente, se evalúan dos propuestas conceptuales en los alrededores de dicho edificio histórico, ubicada en los límites del Centro Histórico de la ciudad, buscando fomentar la preservación de su patrimonio histórico arquitectónico, bajo los criterios de conservación la tipología y estructura de la edificación original, pero con una propuesta de mejora del contexto urbano, que promoviera la integración peatonal en los espacios públicos de los alrededores.

La ciudad de Mexicali se encuentra ubicada dentro de una región climática desértica cálida (Bwh), donde las temperaturas oscilan entre los 5°C y 45°C en periodos regulares de frío y calor respectivamente, aunque en 2020, registró los valores más altos del país, alcanzando 50.2°C (Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional, 2021). Aunque esta situación condiciona naturalmente el uso diurno de los espacios exteriores durante los periodos cálidos de primavera, verano y otoño; la situación se agrava debido al efecto de isla de calor urbana, ocasionado en gran medida por la predominante presencia de superficies de asfalto en vialidades y estacionamientos (Casillas-Higuera, García-Cueto, & Leyva-Camacho, 2014). Asimismo, se ha identificado que es durante la noche cuando se distingue con mayor claridad el efecto de isla de calor, al prolongarse la liberación del calor almacenado por las superficies hasta horas después de haberse ocultado el sol (Arellano & Roca, 2021). Situación que, en una ciudad desértica, representa la extensión de la vulnerabilidad a las altas temperaturas hacia los periodos nocturnos, reduciendo las horas disponibles para que los habitantes realicen actividades sociales y recreativas en los espacios públicos exteriores durante estos periodos.

Por otra parte, las proyecciones de aumento de temperatura aunadas al cambio climático global incrementan la vulnerabilidad al estrés térmico en los espacios urbanos exteriores. Se estima que entre 2011 y 2020, las actividades humanas generaron incrementos en la temperatura media del planeta entre los 0.8 y 1.30°C superiores que los registrados entre 1850 a 1900 (IPCC, 2023). Mientras que las proyecciones indican que estos valores alcanzarán los 2°C en los próximos 30 años. Particularmente, la región en la que se encuentra Mexicali había registrado un aumento en las temperaturas medias de 1.86°C entre 1900 y 2018. Así como las proyecciones indican que, de acatarse el escenario RCP 2.6 con medidas estrictas en la regulación de emisiones de gases de efecto invernadero, el aumento de temperatura en la región pudiera verse controlado e incluso oscilar alrededor de valores inferiores a los actuales con 1.68°C de aumento proyectados para 2050. Aunque el escenario pesimista RCP 8.5 con un aumento en las emisiones siguiendo la tendencia de crecimiento actual llevaría a un incremento en las temperaturas de hasta de 2.67°C para 2050 en la región. Anomalías que se han visto asociadas a severas afectaciones a la salud de los habitantes de las ciudades alrededor del mundo.

Si bien, no se ha identificado una amplia literatura referida específicamente al caso del comportamiento climático del centro histórico de Mexicali, existen múltiples estudios que estudian las estrategias reconocidas como mitigantes del calentamiento de las ciudades (García Haro & Arellano Ramos, 2018). En contextos desérticos, estudios han identificado el papel fundamental de la generación de sombra mediante árboles o elementos artificiales (Ahmadi Venhari, Tenpierik, & Taleghani, 2019; Colter, Middel, & Martina, 2019), así como la sustitución de las cubiertas de suelo por otras de mayor albedo en la escala local (Mohammed, Khan, & Santamouris, 2021) y pequeña escala (Sen, Mendèz-Ruiz Fernandèz, & Roesler, 2020).

En este contexto, la presente investigación surge como respuesta a la necesidad de adaptación de los espacios urbanos a las condiciones climáticas de la región y las dinámicas sociales de la localidad. Así como busca promover el proceso de análisis aquí planteado como ejercicio cotidiano en los talleres de proyecto arquitectónico de las escuelas de Arquitectura.

## 2. Datos y métodos

En la presente investigación se constituye un ejercicio metodológico para la toma de decisiones en la definición de las estrategias de integración urbana durante el proceso de diseño y planeación de los espacios urbanos aledaños al proyecto arquitectónico. Particularmente, el estudio se divide en tres etapas: 1) mediciones de campo para el análisis del comportamiento climático detallado de los espacios urbanos bajo las condiciones actuales y la identificación de

puntos vulnerables al estrés térmico; 2) planteamiento de distintas estrategias y escenarios de intervención urbana para la mejora microclimática de los alrededores del proyecto; y 3) evaluación de la influencia de los diferentes escenarios de estrategias de diseño planteadas sobre el comportamiento térmico de los espacios mediante simulación térmica en ENVI-met (Bruse & Fleer, 1998).

### 2.1 Descripción del caso de estudio

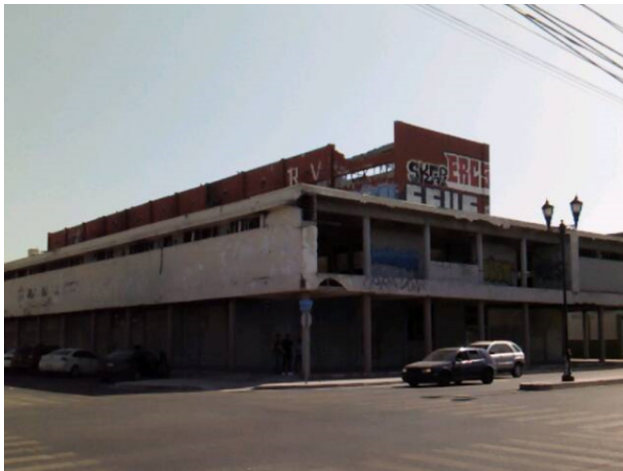
El presente estudio se enfoca en el análisis de las propuestas de diseño de los espacios urbanos comprendidos por la intersección entre la Avenida Álvaro Obregón con la Calle Pedro F. Pérez y Ramírez, colindantes al Antiguo Mercado Municipal de Mexicali, ubicado en la Colonia Primera Sección en los límites del Centro Histórico de la ciudad de Mexicali, Baja California, México. Ciudad en el límite norte del municipio homónimo y capital del Estado de Baja California, en la frontera con los Estados Unidos.



Figura 1. Ubicación del antiguo Mercado Municipal de Mexicali.

Fuente: Elaboración propia con información del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información (INEGI, 2020) y Esri (2022).

El Antiguo Mercado Municipal cubre una superficie aproximada de 2,200m<sup>2</sup> y tuvo su inauguración en el año de 1956, constituyendo durante décadas uno de principales puntos de comercio local. En 2010 el edificio fue desalojado debido a los daños estructurales que sufrió durante el terremoto del 4 de abril de ese año. Desde entonces y hasta la actualidad, se encuentra abandonado y presenta un alto grado de deterioro físico. Por lo que, en los últimos años, la administración local y la sociedad civil han expresado su interés por rehabilitar la edificación, buscando conservarla como parte patrimonio arquitectónico de la localidad (Ruelas Parra, 2018).



*Figura 2. Vista del estado actual del Antiguo Mercado Municipal de Mexicali desde intersección de Avenida Álvaro Obregón y Calle Pedro F. Pérez y Ramírez. Fuente: Fotografía propia tomada el 5 de mayo de 2022 a las 16:03hrs.*

## 2.2 Registro del comportamiento climático de los espacios urbanos del proyecto

Con instrumentos portátiles se registró la temperatura de aire ( $T_a$ ) y superficies ( $T_s$ ), en 17 puntos del área de estudio el 5 de mayo entre las 15:32 y 16:34 horas del día, así como la noche inmediata después,

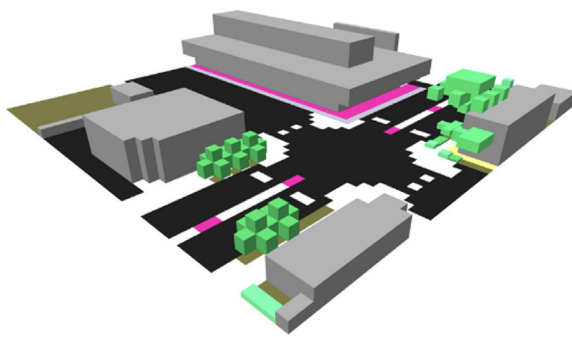
el 6 de mayo entre las 00:06 y 00:50 horas, ambos en hora local. Fechas seleccionadas como días representativos de primavera, considerada la temporada con los valores de temperatura medios representativos y con mayor expectativa de posibilidad de uso de espacios exteriores en el clima desértico. Se utilizó la estación portátil Extech HT30 y el anemómetro Extech 45118 posicionados a una altura de 1.5m sobre el suelo para obtener las variables atmosféricas y una cámara termográfica Fluke TiS20 para registrar la temperatura de las superficies con radiación directa del sol, bajo sombra y durante la noche. Asimismo, se calculó el Albedo de las superficies mediante un luxómetro, obteniendo la relación entre la radiación solar directa y la reflejada por las superficies. Para su interpretación espacial, se elaboró un mapa de  $T_a$  para los registros de día y noche mediante una interpolación de Ponderación de distancia inversa (IDW por sus siglas en inglés) en ArcGIS.

## 2.3 Modelado y simulación térmica de escenarios de mejora del contexto urbano

La simulación térmica de los espacios exteriores se realizó mediante el modelo microclimático ENVI-met 5.0.3. Donde se evaluaron tres escenarios; uno bajo las condiciones físicas actuales de los espacios urbanos y otros dos con propuestas de modificación planteadas a partir de los resultados de las mediciones de campo y la simulación del escenario actual. Los tres escenarios se modelaron en un área cuadrangular de 100m por lado (2m celda), buscando integrar la relación entre la intersección vial y las fachadas principales del edificio (Figura 1). La simulación se corrió para la misma fecha y hora de las mediciones de campo (5 y 6 de mayo de 2022). Donde la calibración climática se realizó con la información de temperatura, dirección y velocidad del viento registradas en la estación meteorológica Mexicali-EMA (Sistema Meteorológico Nacional (SMN), 2022), aproximadamente a tres kilómetros del área de estudio [32.6666N; -115.4577°].

El modelado de las edificaciones corresponde a las condiciones actuales de la zona, planteando la conservación íntegra de la edificación actual del antiguo Mercado Municipal y considerando el Concreto con aislamiento moderado como material predominante en edificaciones, así como Concreto sin aislamiento en muros divisorios exteriores. Mientras que los principales cambios planteado en los escenarios propuestos corresponden al cambio de superficies y vegetación.

Finalmente, para su análisis, se extrajeron las imágenes de la potencial temperatura de aire del área de estudio a una altura de 1.8m. Tomando como referencia el corte de las 15:30hrs para analizar el periodo diurno y el de la 00:30hrs para el nocturno.



### 2.3.1 Escenario actual

El modelo para la simulación del escenario actual se representó con una abstracción de los materiales y vegetación identificados al momento de las mediciones de campo (Figura 2). Con una predominante superficie cubierta por asfalto en vialidades vehiculares, concreto gris sobre las banquetas, concreto estampado rojo brillante en los andadores peatonales aledaños al edificio en cuestión y tierra y pasto en los arriates de la vegetación actualmente en el área. Asimismo, actualmente la presencia de vegetación está conformada por 11 árboles, una palma, cinco arbustos y dos superficies cubiertas de pasto (Figura 3).

| ID | Material                            | Albedo |
|----|-------------------------------------|--------|
|    | Asfalto                             | 0.2    |
|    | Concreto gris                       | 0.5    |
|    | Concreto estampado rojizo brillante | 0.8    |
|    | Tierra                              | 0.2    |
|    | Pasto                               | 0.2    |

| ID | Vegetación                                        | Cant. |
|----|---------------------------------------------------|-------|
| DS | Árbol follaje denso, tronco delgado, 5m de altura | 9     |
| SS | Árbol follaje medio, tronco delgado, 5m altura    | 1     |
| DM | Palma 10m de altura                               | 1     |
| AC | Árbol follaje medio, tronco delgado, 2m altura    | 1     |
| XY | Arbusto denso, 50cm altura                        | 5     |
| LG | Pasto, 10cm altura                                | 2     |

Figura 3. Modelado del escenario actual en ENVI-met.  
Fuente: Elaboración propia

### 2.3.2 Primer escenario propuesto: paso elevado en intersección

Una vez identificados los puntos vulnerables, se hizo una primera propuesta. Particularmente, se propuso un paso elevado en la intersección de las avenidas principales con sustitución del asfalto por pavimento

empedrado y estampado de concreto, y se integró vegetación en áreas específicas de interés. Así como se reconfiguró la avenida lateral al edificio, cambiando una porción del asfalto y el concreto gris oscuro por un concreto claro (Figura 4).



Figura 4. Primera propuesta de intervención urbana, paso elevado en intersección. Fuente: Elaboración propia.

El modelo para la simulación del primer escenario se representó con los materiales y vegetación listados en la Figura 5, donde se expresa su Albedo como característica de interés debido a su influencia sobre

el microclima de los espacios exteriores (Sen, Menéndez-Ruiz Fernández, & Roesler, 2020; Mohammed, Khan, & Santamouris, 2021).

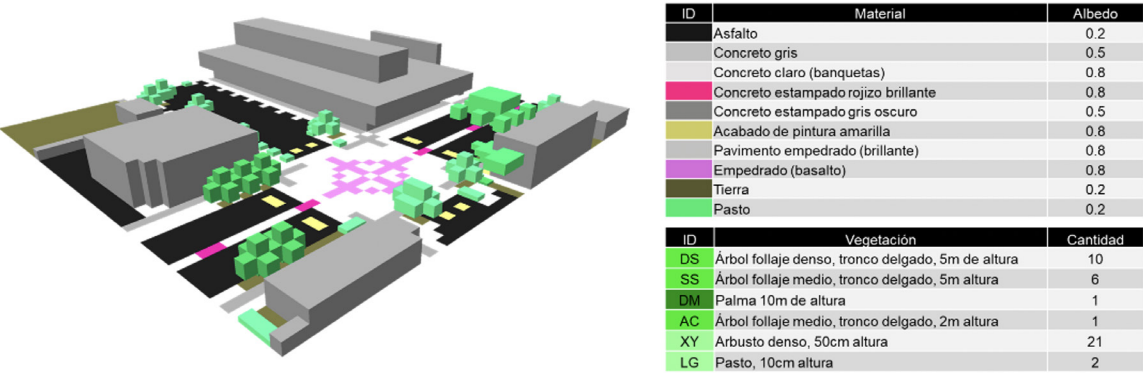


Figura 5. Modelado de primer escenario propuesto. Fuente: Elaboración propia.

2.3.3 Segundo escenario propuesto: camellón arbolado

Asimismo, la segunda propuesta se plantea con relación a la incorporación de un camellón con vegetación en la calle lateral al edificio y la reducción de la

superficie de asfalto mediante la modificación de los estacionamientos actuales, así como se ve acompañada de unos pasos pompeyanos en la intersección (Figura 6).



Figura 6. Segunda propuesta de intervención urbana, camellón arbolado. Fuente: Elaboración propia

El modelo para la simulación de este segundo escenario se representó con los materiales y vegeta-

ción listados en la Figura 6 con sus características principales.

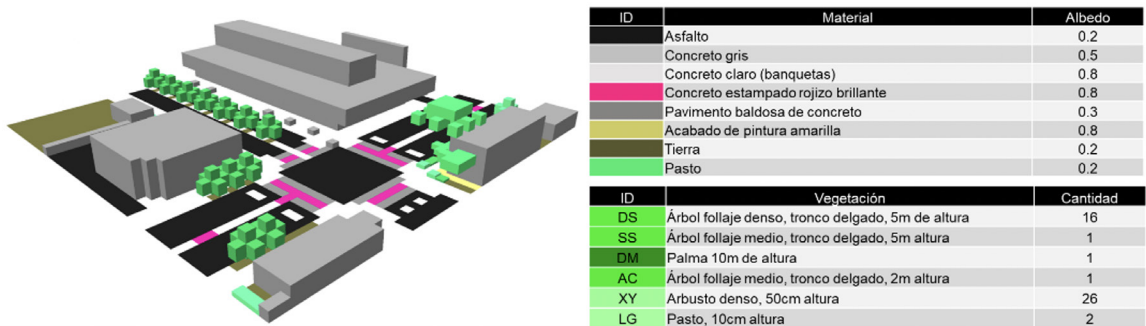


Figura 7. Modelado de segundo escenario propuesto. Fuente: Elaboración propia

### 3. Resultados

#### 3.1 Comportamiento microclimático en exteriores del Antiguo Mercado Municipal

Las mediciones de campo de temperatura de aire (*Ta*) y superficie (*Ts*) permitieron identificar las variaciones microclimáticas en los espacios urbanos alrededor del edificio (Tabla 1). Se registró una *Ta*

*diurna* promedio de 26.92°C, con una amplitud térmica de 5.9°C entre 36.4 y 42.3°C, mientras que la *Ta nocturna* osciló 1.5°C entre 26.3 a 27.8°C. Entre día y noche se registró una diferencia promedio de 12.27°C, con una variación máxima de 15.70°C en el Punto 11 y una mínima de 9.00°C en el Punto 7. En relación a la estación meteorológica, la *Ta diurna* registró una diferencia media de 3.74°C, mientras que en la noche se registró -1.5°C.

| Pto.           | Día   |         |           |        |                  | Noche |         |           |        |                  | Diferencia          |
|----------------|-------|---------|-----------|--------|------------------|-------|---------|-----------|--------|------------------|---------------------|
|                | Hora  | Ta (°C) | Vv (km/h) | HR (%) | Ta estación (°C) | Hora  | Ta (°C) | Vv (km/h) | HR (%) | Ta estación (°C) | Ta Día - Noche (°C) |
| 1              | 15:32 | 40.5    | 9.36      | 6.1%   | 35.3             | 00:06 | 27.6    | 3.60      | 8.3%   | 29.1             | 12.9                |
| 2              | 15:38 | 38.8    | 6.84      | 6.1%   | 35.3             | 00:10 | 27.8    | 4.32      | 8.4%   | 29.1             | 11.0                |
| 3              | 15:41 | 39.7    | 11.88     | 5.8%   | 35.4             | 00:12 | 27.4    | 5.76      | 8.7%   | 28.8             | 12.3                |
| 4              | 15:45 | 40.8    | 5.76      | 5.2%   | 35.4             | 00:15 | 27.3    | 5.40      | 9.1%   | 28.8             | 13.5                |
| 5              | 15:48 | 41.5    | 7.20      | 5.0%   | 35.4             | 00:17 | 27.0    | 3.60      | 9.4%   | 28.8             | 14.5                |
| 6              | 15:55 | 38.8    | 10.44     | 6.6%   | 35.4             | 00:19 | 27.4    | 5.04      | 9.1%   | 28.8             | 11.4                |
| 7              | 16:58 | 36.4    | 7.56      | 6.4%   | 35.4             | 00:21 | 27.4    | 3.60      | 9.0%   | 28.5             | 9.0                 |
| 8              | 16:01 | 38.9    | 6.84      | 6.1%   | 35.4             | 00:23 | 27.0    | 3.60      | 9.3%   | 28.5             | 11.9                |
| 9              | 16:09 | 38.4    | 5.04      | 5.4%   | 35.4             | 00:25 | 26.8    | 3.96      | 9.4%   | 28.5             | 11.6                |
| 10             | 16:15 | 37.0    | 1.44      | 5.8%   | 35.6             | 00:30 | 26.6    | 6.84      | 9.8%   | 28.5             | 10.4                |
| 11             | 16:19 | 42.1    | 2.88      | 5.0%   | 35.6             | 00:33 | 26.4    | 3.24      | 10.2%  | 28.4             | 15.7                |
| 12             | 16:23 | 42.3    | 1.44      | 4.7%   | 35.6             | 00:36 | 26.7    | 3.96      | 10.1%  | 28.4             | 15.6                |
| 13             | 16:26 | 38.5    | 4.32      | 5.2%   | 35.6             | 00:38 | 26.4    | 2.16      | 10.1%  | 28.4             | 12.1                |
| 14             | 16:28 | 38.0    | 15.48     | 5.0%   | 35.6             | 00:41 | 26.5    | 11.16     | 10.3%  | 28.5             | 11.5                |
| 15             | 16:30 | 39.5    | 5.04      | 5.2%   | 35.6             | 00:44 | 26.3    | 3.96      | 10.5%  | 28.5             | 13.2                |
| 16             | 16:32 | 37.7    | 12.60     | 5.7%   | 35.4             | 00:46 | 26.3    | 7.20      | 10.5%  | 28.5             | 11.4                |
| 17             | 16:34 | 37.4    | 3.60      | 6.1%   | 35.4             | 00:50 | 26.8    | 3.24      | 10.1%  | 28.5             | 10.6                |
| Media campaña: |       | 39.19   | 6.92      | 0.06   | 35.46            | 0.02  | 26.92   | 4.74      | 0.10   | 28.62            | 12.27               |

Tabla 1. Variables micrometeorológicas registradas durante campañas de medición. Fuente: Elaboración propia.

Dichas variaciones explican un efecto de calentamiento de aire y superficies durante el día en el área de estudio. No obstante, también indican una ligera disminución de temperatura en el sitio durante la noche, en relación con las condiciones atmosféricas

registradas en la estación meteorológica, situación que pudiera indicar que las características de la zona favorecen la pérdida de calor por convección o una menor concentración de emisiones de calor antropogénico en comparación de la ubicación de la estación.

| Pto.                  | Día   | Noche | Ts media     |              |              | Diferencia Ts media (°C) |              |                |
|-----------------------|-------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------------------|--------------|----------------|
|                       | Hora  | Hora  | Sol (°C)     | Smbra (°C)   | Noche (°C)   | Sol - Sombra             | Sol - Noche  | Sombra - Noche |
| 1                     | 15:32 | 00:06 | 62.0         | -            | 30.1         | -                        | 31.9         | -              |
| 2                     | 15:38 | 00:10 | 47.5         | 44.2         | 30.6         | 3.3                      | 16.9         | 13.6           |
| 3                     | 15:41 | 00:12 | 62.5         | -            | 30.4         | -                        | 32.1         | -              |
| 4                     | 15:45 | 00:15 | 61.3         | -            | 30.1         | -                        | 31.2         | -              |
| 5                     | 15:48 | 00:17 | 63.2         | -            | 31.4         | -                        | 31.8         | -              |
| 6                     | 15:55 | 00:19 | -            | 44.8         | 29.3         | -                        | -            | 15.5           |
| 7                     | 16:58 | 00:21 | -            | 35.8         | 29.0         | -                        | -            | 6.8            |
| 8                     | 16:01 | 00:23 | 53.0         | 43.8         | 27.0         | 9.2                      | 26.0         | 16.8           |
| 9                     | 16:09 | 00:25 | 53.7         | 47.4         | 26.8         | 6.3                      | 26.9         | 20.6           |
| 10                    | 16:15 | 00:30 | 53.9         | -            | 30.4         | -                        | 23.6         | -              |
| 11                    | 16:19 | 00:33 | 53.5         | -            | 30.3         | -                        | 23.2         | -              |
| 12                    | 16:23 | 00:36 | 62.1         | 54.3         | 30.1         | 7.7                      | 31.9         | 24.2           |
| 13                    | 16:26 | 00:38 | 58.6         | 40.6         | 28.5         | 18.0                     | 30.2         | 12.2           |
| 14                    | 16:28 | 00:41 | 59.5         | 54.4         | 30.2         | 5.1                      | 29.4         | 24.2           |
| 15                    | 16:30 | 00:44 | 57.2         | -            | 25.1         | -                        | 32.1         | -              |
| 16                    | 16:32 | 00:46 | 56.8         | 53.0         | 27.0         | 3.7                      | 29.8         | 26.0           |
| 17                    | 16:34 | 00:50 | -            | 40.0         | 32.4         | -                        | -            | 7.7            |
| <b>Media campaña:</b> |       |       | <b>57.49</b> | <b>45.83</b> | <b>29.34</b> | <b>7.61</b>              | <b>28.36</b> | <b>16.76</b>   |

Tabla 2. Ts registrada durante campañas de medición.  
Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la *Ts Sol* registró una media de 57.48°C, 45.84°C en la *Ts Sombra* y 29.33°C durante la noche (Tabla 2). Así como la temperatura de las superficies al sol y sombra registraron una diferencia media de -7.60°C, entre la *Ts Sol* y la *Ts Noche* se registró una diferencia de -28.3°C, así como entre *Ts Sombra* y *Ts Noche* alcanzó -16.8°C. En este caso en particular, se requiere un mayor entendimiento de los materiales para poder evaluar las condiciones físicas relacionadas con estas variaciones.

3.1.1 Temperatura de aire en los espacios

Por su parte, mediante la interpolación, se identificó una reducción de *Ta* diurna al norte, este y oeste del edificio, extendiéndose hacia la avenida lateral en los Puntos 14 y 16 (Figura 7). Particularmente, los puntos con menor temperatura (6, 7 y 17) co-

rresponden a las banquetas cubiertas por la volumetría de la edificación, mientras que el Punto 10, por su ubicación, no ha recibido gran cantidad de radiación solar debido a la sombra proyectada del edificio del Mercado Municipal, así como del edificio contiguo. Por otra parte, también podemos destacar la concentración de las temperaturas más altas en la zona sur del edificio, en los puntos 11 y 12. Aquí particularmente, durante las mediciones, estos puntos se encontraban totalmente expuestos a la radiación solar, así como no se observaron elementos que pudieran proyectar sombra sobre estos puntos. Finalmente, también se registra un aumento de temperaturas sobre la Av. Álvaro Obregón, en particular en los carriles norte, los cuales están totalmente expuestos a la radiación solar al no verse dentro de la proyección de sombras y los edificios, así como tener superficie principalmente de asfalto.

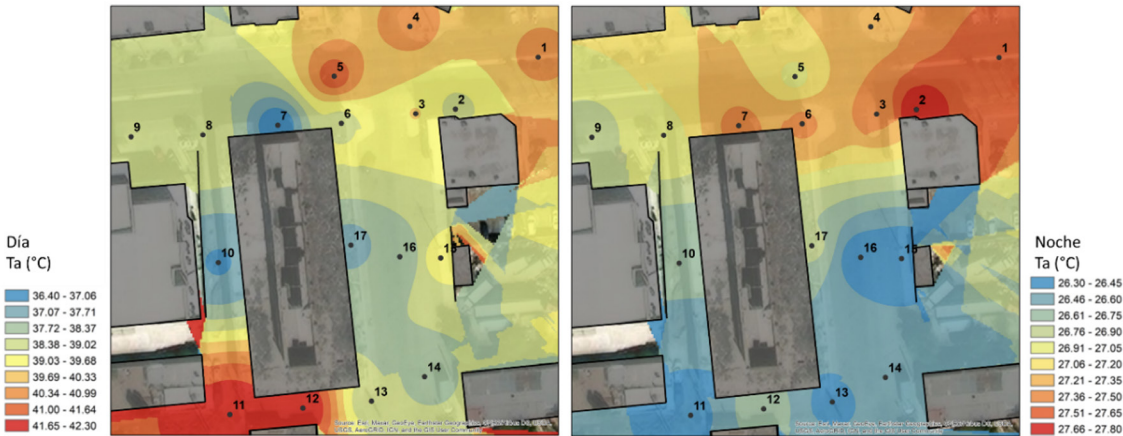


Figura 8. Temperatura de aire registrada durante campañas de medición.  
Fuente: Elaboración propia.

Durante la noche, las temperaturas más altas se registraron sobre la calle norte del edificio, con la particularidad que estas se extienden hacia los puntos 6 y 7, los cuales durante el día registraron las temperaturas más bajas. Asimismo, se registró que la  $T_a$  más baja durante la noche se concentra en los puntos ubicados en la calle lateral y al sur del edificio, de los cuales también algunos registraron la  $T_a$  más alta durante la medición de día.

### 3.1.2 Temperatura de superficie y el comportamiento térmico de los materiales

Durante las mediciones, se clasificaron las superficies exteriores en cinco materiales fundamentalmente: asfalto de las vialidades, concreto gris de las banquetas, concreto estampado con acabado rojizo

brillante en las banquetas de la edificación, tierra en algunas zonas y pasto. La mayoría de los puntos están principalmente cubiertos por superficies de asfalto y concreto gris. El concreto estampado rojizo se observó en cinco puntos, con mayor predominancia en los puntos 6, 7 y 17. Así como solo se observó tierra en tres puntos y pasto en dos. No obstante, el material predominante de todos los puntos fue el asfalto. Así como, de los cinco materiales, el asfaltó registró la  $T_s$  más elevada al sol, sombra y en la noche (Tabla 3). Al sol registró una máxima de 68.2°C y una media de todos los puntos de medición de 59.9°C; mientras que la media en sombra es superada por la Tierra con 49.8°C, aunque si es el asfalto el que registra la máxima más elevada con 54.4°C.

| N = 17<br>(°C)            | Sol   |      |      | Sombra |      |      | Noche |      |      |
|---------------------------|-------|------|------|--------|------|------|-------|------|------|
|                           | Media | Max  | Min  | Media  | Max  | Min  | Media | Max  | Min  |
| Asfalto                   | 59.9  | 68.2 | 46.5 | 47.1   | 54.4 | 38.3 | 30.4  | 33.4 | 25.1 |
| Concreto (banquetas)      | 57.0  | 61.7 | 47.5 | 41.5   | 47.4 | 34.5 | 28.5  | 30.7 | 25.0 |
| Concreto estampado rojizo | -     | -    | -    | 37.4   | 39.2 | 34.7 | 28.9  | 32.4 | 26.9 |
| Tierra                    | 59.8  | 62.2 | 57.5 | 49.8   | 54.3 | 45.3 | 28.6  | 30.1 | 27.1 |
| Pasto                     | 42.1  | 43.0 | 41.3 | -      | -    | -    | 21.9  | 22.0 | 21.8 |
| $T_s$ media               | 57.5  | 68.2 | 41.3 | 43.5   | 54.4 | 34.5 | 29.0  | 33.4 | 21.8 |

Tabla 3.  $T_s$  media registrada por tipo de material.  
Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, la mayor capacidad de enfriamiento la registró la superficie de Tierra, con una diferencia media de 31.2°C entre el día al sol y la noche, y 21.3°C entre día a la sombra y noche (Tabla 4).

Seguida del asfalto con una reducción media de 29.5°C y 16.7°C respectivamente. Después el concreto gris de las banquetas y por último el concreto estampado rojizo.

| N = 17<br>(°C)            | Sol - Sombra |      |      | Sol - Noche |      |      | Sombra - Noche |      |      |
|---------------------------|--------------|------|------|-------------|------|------|----------------|------|------|
|                           | Media        | Max  | Min  | Media       | Max  | Min  | Media          | Max  | Min  |
| Asfalto                   | 12.8         | 13.8 | 8.2  | 29.5        | 34.8 | 21.4 | 16.7           | 21.0 | 13.2 |
| Concreto (banquetas)      | 15.5         | 14.4 | 13.0 | 28.5        | 31.0 | 22.5 | 13.0           | 16.7 | 9.5  |
| Concreto estampado rojizo | -            | -    | -    | -           | -    | -    | 8.5            | 6.8  | 7.8  |
| Tierra                    | 10.0         | 7.8  | 12.2 | 31.2        | 32.1 | 30.4 | 21.2           | 24.2 | 18.2 |
| Pasto                     | -            | -    | -    | 20.2        | 21.0 | 19.5 | -              | -    | -    |
| Ts media                  | 14.1         | 13.8 | 6.8  | 28.5        | 34.8 | 19.5 | 14.5           | 21.0 | 12.7 |

Tabla 4. Diferencia sol, sombra y noche de Ts registrada por tipo de material. Fuente: Elaboración propia.

Desde otra perspectiva, el material que registró la mayor diferencia de Ts bajo sol y sombra fue el concreto de las banquetas, alcanzando 15.6°C de reducción bajo la sombra. Seguida del asfalto con una reducción media de 12.8°C.

3.2 Comportamiento climático de los espacios propuestos

La simulación térmica arrojó las potenciales variaciones de Ta que se pudieran generar mediante las intervenciones urbanas alrededor del conjunto arquitectónico (Figura 8). Durante el día, con una Ta máxima de 36.28°C y mínima de 33.65°C, el escenario actual registró la temperatura más elevada sobre las vialidades, predominando valores arriba de los 35.45°C. Mientras que los valores más bajos se registraron en el callejón posterior alcanzando entre 33.35 a 33.7°C. Este comportamiento se asemeja en gran medida al registrado durante las mediciones de campo, validando la distribución espacial de las variaciones microclimáticas.

La propuesta 1 registró una reducción en la Ta máxima y mínima de 0.25°C y 0.20°C respectivamente. Donde se observó una importante

disminución de superficie cubierta por temperaturas superiores a los 35.45°C en la intersección bajo el escenario actual, reduciendo hasta 1°C mediante las estrategias propuestas. Asimismo, se observa como los rangos de Ta alrededor de la edificación registraron un descenso de alrededor de 0.65°C y la superficie cubierta por los valores mínimos obtenidos incrementó en la parte posterior de la edificación.

Por su parte, la propuesta 2 registró un descenso en la Ta máxima y mínima de 0.15°C y 0.11°C respectivamente con relación al escenario actual. Donde nuevamente se observó una reducción en la superficie cubierta por las temperaturas superiores a los 35.45°C registradas en el escenario actual, aunque en este caso con reducciones de 0.70°C en las vialidades. No obstante, los espacios colindantes a la edificación registran un comportamiento semejante a la propuesta 1, donde predominan las temperaturas 0.70°C inferiores que en el escenario actual.

En cuanto al periodo nocturno, los escenarios propuestos 1 y 2, registraron apenas una reducción de 0.01°C con relación a la Ta máxima y mínima del escenario actual. Particularmente, la propuesta 1

no registró importantes variaciones espaciales de  $T_a$  durante la noche con relación al escenario actual. No obstante, la propuesta 2 sí registró una extensión de los rangos más bajos de temperatura a lo largo de la vialidad lateral al edificio, con reducciones de hasta  $0.46^\circ\text{C}$ .

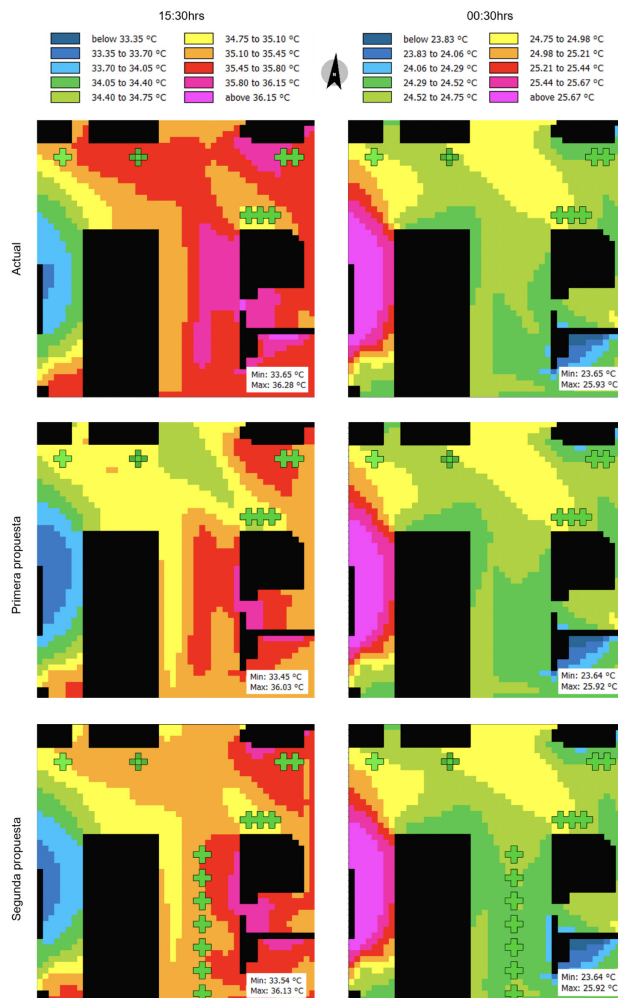


Figura 9. Potencial temperatura de aire en los tres escenarios simulados en ENVI-met.

Fuente: Elaboración propia.

## 4. Conclusiones

### 4.1 Eficiencia de las estrategias para la optimización microclimática

Los resultados nos presentan una primera aproximación al reconocimiento de la influencia de las características físicas actuales y propuestas sobre el comportamiento climático de los espacios exteriores de una propuesta de intervención arquitectónica. Particularmente, el enfoque de análisis planteado nos permite identificar tres principales estrategias de diseño urbano climáticamente sensible: 1) disposición de edificaciones para la reducción de la incidencia solar sobre las superficies de andadores; 2) sustitución de materiales de superficies; y 3) integración de vegetación.

#### 4.1.1 Disposición de edificaciones para la reducción de la incidencia solar

Desde las mediciones de campo, podemos corroborar que la reducción de la predominante exposición del concreto y asfalto a la radiación solar, es la estrategia con la mayor reducción de temperatura en los espacios públicos urbanos de Mexicali. Estudios previos han relacionado el sombreado de las edificaciones con un efecto de enfriamiento prolongado a lo largo del año, esto debido a la poca o nula exposición de radiación solar de las cubiertas de suelo a lo largo del día en distintos periodos del año (Yu, y otros, 2019). Situación que se ha manifestado en la reducción de la Temperatura Media Radiante (TMR), variable fundamental en el cálculo de los indicadores de confort térmico (Acero, Koh, Sun Tan, & Norford, 2021).

Particularmente, el efecto de la reducción de la incidencia solar por la edificación queda reflejado en el punto 10 del transecto de medición (Figura 7). En el cual, durante el momento de la medición las superficies se encontraban expuestas a la radiación solar

directa, no obstante, por su ubicación al oeste de la edificación, en horas previas estos espacios se encontraban cubiertos por la sombra de la edificación, lo que se manifestó en una menor temperatura que el resto de espacios con las mismas características físicas, pero con distinta ubicación. No obstante, el beneficio microclimático de esta característica física de los espacios exteriores, es que su efecto se concentra en las proximidades de la edificación, cuya propagación hacia el entorno urbano, se ve limitada por el efecto de calentamiento causado por la configuración de las vialidades y otros espacios edificados cercanos (García-Haro, Arellano, & Roca, 2023).

#### *4.1.2 Sustitución de materiales de superficies del suelo*

Al evaluar los tres escenarios, se observó que la sustitución de las superficies de asfalto por otras de mayor albedo resulta fundamental en la reducción de la temperatura de los espacios viales urbanos y la propagación del efecto de enfriamiento generado por la proyección de la sombra de las edificaciones (Figura 8). Estudios previos han identificado que una mayor cobertura de superficies con mayor albedo y la selección de materiales con una menor capacidad de almacenamiento del calor recibido por la radiación solar directa, permiten contrarrestar la isla de calor urbana y lograr una mayor extensión del efecto de regulación microclimática durante los periodos cálidos (Ren, Shi, Kong, & Zhou, 2023).

En el caso del Antiguo Mercado Municipal, la sustitución de la superficie de la intersección de las dos vialidades en la primera propuesta generó una reducción en la  $T_a$  de hasta  $1.40^{\circ}\text{C}$ . Particularmente, señalando el papel que la superficie de asfalto de una intersección sin ningún tipo de reducción de la radiación solar directa, tiene sobre la isla de calor urbana y el potencial enfriamiento que al intervenir sobre la misma se pudiera generar. No obstante, en los resultados se observa que la pro-

porción se asfalto sustituida no fue suficiente para alcanzar un efecto favorable en los andadores de la manzana frente a la edificación en cuestión, por lo que una intervención integral implicaría considerar una estrategia complementaria en los espacios no favorecidos.

#### *4.1.3 El papel de la vegetación*

Los tres escenarios señalaron un ínfimo efecto de enfriamiento de la vegetación. Particularmente, la segunda propuesta, con una mayor disposición de número de árboles, no reflejó una reducción en la  $T_a$  del área de estudio, pero sí favoreció la propagación de las temperaturas ya registradas en los espacios aledaños del Antiguo Mercado Municipal. Asimismo, se observa que la propagación de dicho efecto está limitada por el calentamiento de las superficies de asfalto contiguas.

Estudios previos han identificado que el efecto de enfriamiento de la vegetación es resultado de la relación entre la calidad, tamaño y configuración de las cubiertas contiguas de vegetación y la intensidad de la isla de calor generada por el medio físico edificado (Rakoto, Deilami, Hurley, Amati, & Sun, 2021; García-Haro, Arellano, & Roca, 2023). Donde entre más compleja y dispersa sea la cubierta de vegetación, menor es su capacidad de contrarrestar la isla de calor urbana. En este sentido, mayor análisis es requerido en torno a la interacción de estos elementos.

### **4.2 Evaluación del impacto microclimático de propuestas de transformación urbana para mitigar el calentamiento de las ciudades**

Este estudio ha puesto de relieve la importancia de la definición de parámetros de diseño urbano climáticamente sensible para la adaptación de las ciudades al cambio climático. Los resultados permitieron cuantificar la reducción de temperatura generada por propuestas de transformación urbana mediante simulación térmica y contrastarlas con la reali-

dad de su aplicación. Dicha previsualización de los efectos térmicos de los cambios físicos en el espacio destaca que la planificación no solo debe considerar aspectos estéticos y funcionales, sino también abordar de manera preventiva sus posibles impactos sobre el clima urbano para identificar y aplicar estrategias de diseño que regulen el microclima de manera benéfica para contrarrestar el calentamiento en las ciudades.

En este contexto, la simulación térmica emerge como una herramienta esencial para la gestión urbana sustentable. Su capacidad para prever y evaluar los impactos térmicos en entornos urbanos ofrece una perspectiva valiosa para diseñar estrategias que mitiguen el efecto isla de calor y promuevan entornos más habitables. Por lo que la integración de dichos métodos de evaluación en las políticas y directrices urbanas, sentarían las bases para un desarrollo urbano más consciente y sustentable.

#### 4.3 Limitaciones y futuras líneas de investigación

El presente estudio ha sentado las bases para una comprensión más profunda de las mejoras urbanas destinadas a la optimización microclimática en el Antiguo Mercado Municipal de Mexicali. Sin embargo, el camino hacia ciudades más resilientes y sostenibles sigue presentando desafíos y oportunidades para futuras investigaciones. Investigaciones posteriores podrían explorar la integración de las variaciones espaciotemporales para la valoración microclimática de las estrategias de transformación urbana. Asimismo, sería esencial investigar de manera más exhaustiva los impactos sociales y económicos de estas mejoras, considerando la participación comunitaria como un factor clave. Adicionalmente, se sugiere la evaluación a largo plazo de las intervenciones implementadas y la adaptación de las estrategias a escenarios climáticos futuros. Además, comparar y analizar críticamente diferentes enfoques de optimización microclimáti-

ca permitiría identificar las soluciones más eficaces y aplicables a contextos específicos. Estas futuras investigaciones no solo contribuirían al conocimiento científico, sino que también ofrecerían pautas prácticas para el diseño urbano sustentable en el contexto específico de Mexicali y podrían tener implicaciones más amplias para otras ciudades que buscan hacer frente a desafíos similares.

#### Agradecimientos

Un agradecimiento a Kevin Gómez Bueno, Emma V. Hernández Valenzuela y Marco A. Guerrero Fontes, estudiantes de la Licenciatura en Arquitectura de la Escuela de Arquitectura del Centro de Estudios Superiores Xochicalco Campus Mexicali, autores de las propuestas de diseño evaluadas y quienes colaboraron en las mediciones de campo del estudio. Asimismo, un agradecimiento a la Mtra. Eva Angelina Coronado Jaramillo, directora de dicho programa, quien puso a disposición el equipo de medición y gestionó la vinculación entre las instituciones a favor de promover la integración de los estudiantes de licenciatura en la elaboración de investigación aplicada.

#### Referencias

- Acero, J. A., Koh, E. J., Sun Tan, Y., & Norford, L. K. (2021). Quantifying the Effect of Building Shadowing and Cloudiness on Mean Radiant Temperature in Singapore. *Atmosphere*, 1012. doi: <https://doi.org/10.3390/atmos12081012>
- 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*, 68-76. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.04.009>

Arellano, B., & Roca, J. (2021). Using remote sensing imagery to study urban heat island and heat waves. *Proceedings Volume 11829, Earth Observing Systems XXVI. 1182905*. San Diego, California, Estados Unidos: International Society for Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE). doi: <https://doi.org/10.1117/12.2594387>

Bruse, M., & Fleer, H. (1998). Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental Modelling & Software*, 13(3-4), 373-384. doi: [https://doi-org/10.1016/S1364-8152\(98\)00042-5](https://doi-org/10.1016/S1364-8152(98)00042-5)

Casillas-Higuera, Á., García-Cueto, R., & Leyva-Camacho, O. (2014). Detección de la Isla de Calor mediante Modelado Dinámico en Mexicali, B.C. México. *Información Tecnológica*, 25(1), 139-150. doi: <https://www.doi.org/10.4067/S0718-07642014000100015>

Colter, K., Middel, A., & Martina, C. (2019). Effects of natural and artificial shade on human thermal comfort in residential neighborhood parks of Phoenix, Arizona, USA. *Urban Forestry & Urban Greening*, 44. doi: <https://doi-org/10.1016/j.ufug.2019.126429>

Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. (2021). *Reporte del Clima en México. Reporte Anual 2020*. Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua de México. Obtenido de <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Diagn%C3%B3stico%20Atmosf%C3%A9rico/Reporte%20del%20Clima%20en%20M%C3%A9xico/Anual2020.pdf>

Esri. (2022). World Imagery. Obtenido de ArcGIS Basemap: <https://www.arcgis.com/home/itemhtml?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08febac2a9>

García Haro, A., & Arellano Ramos, B. (2018). Isla de frío de los parques urbanos de Barcelona. Estudio de caso del Turó parc y el parc del Centre del Poblenou. *12º Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual* (págs. 381-400). Mendoza, Argentina: Centre de Política de Sol i Valoracions, CPSV / Universitat Politècnica de Catalunya, UPC. doi: <http://dx.doi.org/10.5821/ctv.8253>

García-Haro, A., Arellano, B., & Roca, J. (2023). Quantifying the influence of design and location on the cool island effect of the urban parks of Barcelona. *Journal of Applied Remote Sensing*, 17(3), 034512. doi: <https://doi.org/10.1117/1.JRS.17.034512>

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información (INEGI). (2020). *Marco Geoestadístico Nacional*. Obtenido de Banco Digital de Mapas: <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>

IPCC. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. *Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)*, 35-115. Ginebra, Suiza: IPCC. Obtenido de <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

- Mohammed, A., Khan, A., & Santamouris, M. (2021). On the mitigation potential and climatic impact of modified urban albedo on a subtropical desert city. *Building and Environment*, 206. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108276>
- Rakoto, P. Y., Deilami, K., Hurley, J., Amati, M., & Sun, Q. (2021). Revisiting the cooling effects of urban greening: Planning implications of vegetation types and spatial configuration. *Urban Forestry & Urban Greening*, 64, 127266. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127266>
- Ren, J., Shi, K., Kong, X., & Zhou, H. (2023). On-site measurement and numerical simulation study on characteristic of urban heat island in a multi-block region in Beijing, China. *Sustainable Cities and Society*, 95, 104615. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104615>
- Ruelas Parra, R. (2018). Cuatro inmuebles icónicos de Mexicali y su Valle. Propuesta para su protección y rehabilitación. *Congreso de Patrimonio Histórico y Cultural de Baja California*. Mexicali, Baja California, México. Obtenido de <https://congresodepatrimonio.wordpress.com/2017/05/03/cuatro-inmuebles-icosonicos-de-mexicali-y-su-valle-propuesta-para-su-proteccion-y-rehabilitacion/>
- Sen, S., Mendèz-Ruiz Fernandèz, J., & Roesler, J. (2020). Reflective Parking Lots for Microscale Urban Heat Island Mitigation. *Journal of the Transportation Research Board*, 2674(8), 663-671. doi: <https://doi.org/10.1177/2F0361198120919401>
- Sistema Meteorológico Nacional (SMN). (2022). *Registro de variables de Estación Meteorológica Automática Mexicali*. Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua. Obtenido de <https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>
- Yu, K., Chen, Y., Wang, D., Chen, Z., Gong, A., & Li, J. (2019). Study of the Seasonal Effect of Building Shadows on Urban Land Surface Temperatures Based on Remote Sensing Data. *Remote Sensing*, 11(5), 497. doi: <https://doi.org/10.3390/rs11050497>

### Alan García Haro

Profesor de tiempo completo de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC).

Candidato a Doctor en Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica por la Universidad Politécnica de Cataluña, Maestro en Planeación y Desarrollo Sustentable y Arquitecto por la UABC. Su investigación se desarrolla en torno a la definición de estrategias de planeación y diseño urbano para la adaptación de las ciudades al cambio climático.



### **Política de acceso abierto**

La Revista Artificio proporciona un acceso abierto a su contenido, basado en el principio de que ofrecer un acceso libre a las investigaciones ayuda a incrementar el intercambio global del conocimiento. Artificio no cobra ni cobrará ningún cargo a sus lectores por concepto de suscripción, ni a los autores por enviar, procesar o publicar sus artículos.

Como condición de publicación, los autores acuerdan liberar sus derechos de autor bajo una licencia compartida, específicamente la licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

Esta licencia permite a cualquier persona compartir, copiar, transformar y redistribuir el material en cualquier medio o formato bajo los siguientes términos:

- \*Dar crédito al autor del texto
- \*No hacer uso del material con propósitos comerciales
- \*Compartir: copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato
- \*Adaptar: remezclar, transformar y crear obras derivadas del material
- \*Si se remezcla, transforma o crea obras derivadas del material, se deben distribuir las nuevas contribuciones bajo la misma licencia que la original.