

## 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)



# Percepción térmica en espacios urbanos patrimoniales. Caso de estudio: Guanajuato.

*Thermal perception in heritage urban spaces.  
Case study: Guanajuato.*

### Claudia Eréndira Vázquez-Torres

Laboratorio de Modelado y Optimización de Procesos Energéticos y Ambientales, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México  
ORCID: 0000-0002-5388-0780  
[claudia.vazquez@correo.uady.mx](mailto:claudia.vazquez@correo.uady.mx)

### Cristina Sotelo-Salas

Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, México  
ORCID: 0000-0001-8685-4290  
[cristina.sotelo@uabc.edu.mx](mailto:cristina.sotelo@uabc.edu.mx)

### Ruth María Grajeda-Rosado

Facultad de Ingeniería de la Construcción y el Hábitat, P.E. Arquitectura - Universidad Veracruzana, México  
ORCID: 0000-0001-9961-3541  
[claudia.vazquez@correo.uady.mx](mailto:claudia.vazquez@correo.uady.mx)

Recived: 2023-10-17  
Accepted: 2023-11-09

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

Vázquez-Torres, C., Sotelo-Salas, C., Grajeda-Rosado, R. (2023). Percepción térmica en espacios urbanos patrimoniales. Caso de estudio: Guanajuato. *Artificio* 4(4), eD1-eD18.

# Percepción térmica en espacios urbanos patrimoniales. Caso de estudio: Guanajuato

Claudia Eréndira Vázquez-Torres · Cristina Sotelo-Salas · Ruth María Grajeda-Rosado

eD2

## Resumen

Los espacios urbanos desempeñan un papel crucial en la búsqueda por mejorar condiciones de salud humana y ambiental debido a su alta concentración de usuarios y su potencial para implementar de estrategias de mitigación y prácticas sustentables frente a los crecientes niveles de CO<sub>2</sub> del ambiente. Los espacios urbanos patrimoniales presentan un reto mayor por su elevado índice de ocupación y a las restricciones normativas para su conservación. Además, el turismo local y foráneo, como fenómeno socio-económico dinámico, requiere estrategias compatibles con protocolos de calidad ambiental ante los retos sociales actuales. El objetivo de este estudio, fue identificar las condiciones térmicas que influyen en la comodidad de los usuarios al ocupar espacios públicos, y proponer estrategias sustentables de mejora. Se utilizó un método experimental para monitorear el comportamiento térmico en una calle conectada con el centro histórico de Guanajuato, que cuenta con clima templado, y se calificó el estrés térmico en espacios exteriores a través de un índice internacional. Los resultados muestran la necesidad de reducir el estrés térmico de acuerdo con los meses de medición, que derivaron en estrategias de mejoramiento efectivas para espacios urbanos patrimoniales enfocados en la movilidad sustentable.

**Palabras clave:** *movilidad sustentable, confort térmico en exteriores, ciudades turísticas, ciudades patrimoniales, espacios urbanos.*

## Abstract

Urban spaces play a crucial role in the search to improve human and environmental health conditions due to their high concentration of users and their potential to implement mitigation strategies and sustainable practices in the face of increasing levels of CO<sub>2</sub> in the environment. Heritage urban spaces present a greater challenge due to their high occupancy rate and the regulatory restrictions for their conservation. Furthermore, local and foreign tourism, as a dynamic socio-economic phenomenon, requires strategies compatible with environmental quality protocols in the face of current social challenges. The objective of this study was to identify the thermal conditions that influence the comfort of users when occupying public spaces, and to propose sustainable improvement strategies. An experimental method was used to monitor the thermal behavior in a street connected to the historic center of Guanajuato, which has a temperate climate, and the thermal stress in outdoor spaces was rated through an international index. The results show the need to reduce thermal stress according to the months of measurement, which resulted in effective improvement strategies for heritage urban spaces focused on sustainable mobility.

**Keywords:** *sustainable mobility, outdoor thermal comfort, tourist cities, heritage cities, urban spaces.*

## 1. Introducción

La evidencia científica ha sido conservadora en las proyecciones sobre el cambio climático y su impacto a nivel global (Brysse et al., 2013), este fenómeno se manifiesta más rápido de lo previsto. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) estimó que hay 20% de probabilidad de que el aumento de las temperaturas supere los 1,5°C a partir de 2024 (World Meteorological Organization, 2022), por lo que las Naciones Unidas a través de su secretario general, solicitó acciones multilaterales (United Nations, 2022). Las condiciones de sobrecalentamiento presentan un incremento continuo en intensidad y frecuencia con potencial para afectar la salud humana y ambiental en todas las escalas.

Además de impactar en el aumento del calor sensible a escala urbana, y contribuir en el incremento de la demanda de enfriamiento y emisiones de CO<sub>2</sub>, las altas temperaturas afectan la habitabilidad térmica en espacios urbanos. Ante este escenario, se han realizado numerosas investigaciones sobre el desarrollo de estrategias de mitigación, como el uso de vegetación, el desarrollo de materiales frescos, tratamiento del volumen de la envolvente urbana y relación de aspecto, así como la incorporación de cuerpos de agua (Lai et al., 2019). Estrategias que generalmente se implementan en el contexto de la rehabilitación sustentable, a partir de la intervención en espacios existentes, y en algunos casos, como lineamientos de diseño para influir de manera temprana en la gestión y planeación de políticas energéticas para espacios urbanos.

Los entornos urbanos patrimoniales no fueron concebidos para responder a necesidades contemporáneas en torno a la salud humana y ambiental. Adicionalmente, las restricciones para la preservación de su valor cultural no permiten la modificación de las envolventes. El centro histórico de una ciudad, es el destino de tráfico interurbano más importante (Ramírez-Rosete et al., 2020a), por lo que es preciso contar con casos de estudio para generar diag-

nósticos asertivos sobre las necesidades específicas del contexto y contribuir a los esfuerzos de conservación del patrimonio con alternativas sustentables que mejoren las redes de movilidad y las condiciones de habitabilidad en centros históricos patrimoniales.

### 1.1 Casos Análogos

Investigaciones recientes han estudiado el desarrollo de estrategias de preservación y habitabilidad bajo diferentes escenarios patrimoniales y distintas escalas de intervención, como los que presenta la Tabla 1. La evolución en los patrones de temperatura ambiente a nivel urbano, fue el objeto de estudio de (Jamei et al., 2015), donde se realizó una comparación entre los efectos de la urbanización en el microclima de dos secciones de la ciudad: la zona histórica y la zona contemporánea de una ciudad que es patrimonio de la humanidad. Los resultados indicaron que el sitio patrimonial mostró menor temperatura durante el día, debido una mayor densidad en urbanización, pero mayor temperatura durante la noche, esto se determinó a partir de estaciones meteorológicas fijas, mediciones dinámicas, Sistemas de Información Geográfica (SIG) e imágenes satelitales.

| Localidad                    | Metodología                  | Estrategia / Recomendación   |
|------------------------------|------------------------------|--|
| Al-Najaf                     | Enfoque analítico            | A escala urbana, se recomendó una reestructuración de la movilidad para preservar el tejido urbano histórico y crear conciencia colectiva en la revitalización de espacios públicos (Farhan et al., 2020).   |
| Querétaro                    | Enfoque sistémico y dinámico | Guzmán propuso la conservación del patrimonio a partir de un análisis que considera la dimensión de la sostenibilidad y el control del crecimiento urbano (Guzman, 2020).  |
| Puebla<br>La Habana<br>Quito | Descriptivo                  | Ramírez-Rosete et al. hicieron énfasis en que no se ha logrado una visión de sustentabilidad a largo plazo en estos casos de estudio, y proponen fortalecer las políticas públicas para preservar los centros históricos y la generación de nuevas líneas de investigación para proteger el patrimonio (Ramírez-Rosete et al., 2020b). |

| Localidad                       | Metodología                          | Estrategia / Recomendación   |
|---------------------------------|--------------------------------------|--|
| Diego de Almagro                | Analítico                            | Dávila et al. establecieron una estrategia de revegetación en patios para mejorar las condiciones climáticas a escala urbana (Dávila Mosquera et al., 2018).   |
| América latina, Italia y España | Enfoque descriptivo y clasificatorio | González et al. concluyeron que en América Latina el principal problema es la dimensión ambiental, y establecieron como desafío la sostenibilidad integral ante estrategias de restauración, renovación y revitalización enfocadas a centros históricos (González Biffis & Etulain, 2018). |
| Puebla                          | Enfoque sistémico                    | Ramírez et al. recomendaron estrategias de revitalización en centros históricos, mejorar las políticas y las estrategias con la participación de todos los actores sociales para garantizar la trascendencia del legado histórico a futuras generaciones (Ramírez Rosete et al., 2020).    |

Tabla 1. Elaboración propia.

Adicionalmente, en la ciudad de Malacca, se realizó una investigación para modelar dos escenarios de mitigación a partir de estrategias de vegetación (Saito et al., 2017) orientadas a mejorar el microclima y el confort térmico de los usuarios de los espacios urbanos, y como contribución a la preservación del patrimonio a través de la conexión de las áreas verdes existente. Se han analizado espacios dentro de los centros históricos de las ciudades patrimonio de la humanidad, en particular, patios en edificios del centro histórico, pasajes, calles y cañones urbanos. En sus estudios, (Rodríguez-Algeciras et al., 2018), aplicaron estrategias de mitigación a partir de cambios en la relación de aspecto y orientación de los patios, y lograron reducciones de hasta 15.7 °C al girar el eje longitudinal de los patios en el sentido norte-sur.

En el estudio de pasajes históricos y su comportamiento térmico, (Yildirim, 2020), demostró que las soluciones vernáculas de adecuación climática son

efectivas y generan condiciones de confort, en clima cálido seco extremo. (Castaldo et al., 2017) implementaron a través de simulación y experimentación, una propuesta de reemplazo de materiales tradicionales, con materiales contemporáneos que se le asemeja en apariencia pero con una mejora en propiedades termo-físicas, para disminuir la temperatura superficial de los elementos que componen el cañón urbano, y evitar el sobrecalentamiento, la propuesta de los investigadores resulta efectiva, al mejorar la percepción térmica de los usuarios en un contexto mediterráneo.

Con relación al desarrollo urbano y el cambio climático, El Desarrollo Sostenible considera importante generar las herramientas adecuadas para realizar mediciones de variables ambientales en el contexto urbano (Guzman, 2020). Por lo que se determinó realizar mediciones de las condiciones térmicas en un espacio urbano patrimonial con un alto índice de ocupación, para definir estrategias y lineamientos de diseño que contribuyan en el mejoramiento de las condiciones de confort térmico en beneficio de los usuarios locales y turistas de estos espacios en el centro histórico, y sus calles aledañas.

## 2. Métodos

Las características establecidas para la metodología corresponden a un enfoque cuantitativo experimental, en un caso de estudio que, además cuenta con el título de Patrimonio de la Humanidad desde 1988 (Secretaría de Turismo, 2021). El proceso metodológico que se presenta en la Fig. 1 permitió realizar un análisis climático a microescala, a partir de la medición de las variables ambientales: temperatura del aire y humedad relativa. Las mediciones en campo, pese a la complejidad del entorno, ofrecieron datos cuantitativos útiles y repetibles.

## 1 Selección del caso de estudio

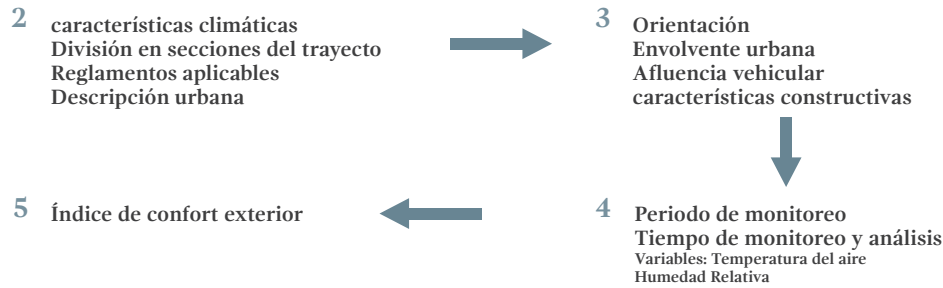


Figura 1. Representación esquemática del proceso metodológico. Fuente: Elaboración propia.

A partir de la selección del caso de estudio, se determinaron las características climáticas, físicas y de la envoltura a lo largo del transecto estudiado, adicionalmente se estudiaron las restricciones reglamentarias aplicables. Para estudiar el transecto completo, se determinó dividirlo en secciones (S1 a S4). La descripción urbana incluyó considerar la orientación que se presentó a lo largo del transecto, así como la afluencia vehicular en cada sección y las características constructivas de los edificios y características de la pavimentación, guarniciones y banqueta.

Se determinó un periodo de monitoreo a cada 30 segundos, en total por cada día de monitoreo se obtuvieron 261 datos por cada variable. Con estos resultados, se utilizó un índice internacional denominado Índice Universal de Clima Térmico (UTCI, por sus siglas en inglés) que evalúa los efectos termofisiológicos con base en el modelo de confort desarrollado por De Dear (Bröde, 2022), para determinar el índice de estrés por calor de acuerdo al rango para espacios que no presentan estrés térmico por calor característico de las condiciones climáticas donde se desarrolló este estudio (9 °C a 26 °C).

Fue importante considerar variables de contexto durante la recolección de la información, estos da-

tos podrían usarse en futuras comparaciones con otros estudios, e inclusive entre investigaciones con diferentes tipos de climas; marcando una pauta importante en todas las observaciones climatológicas urbana (Anderson et al., 2012).

Los registros sugeridos en este trabajo fueron:

- Indicación de los materiales y sistemas constructivos,
- geometría o relación de aspecto para establecer los perfiles edilicios (ancho, altura y largo de la calle),
- orientación, para analizar las sombras desde esta variable, y
- aforo vehicular, que es el número de vehículos que transitan durante el periodo de prueba, información obtenida durante las campañas para realizar su recuento e identificación de tipología.

### 2.1 Área de estudio

El transecto de estudio (calle Del Padre Belauzarán), está ubicado en la ciudad de Guanajuato, capital del estado del mismo nombre, en la región central de México. De acuerdo con cifras del año 2020 su población asciende a los 72,237 habitantes, que representa el 2% de la población total del Estado (INEGI, Instituto Nacional de Geografía, 2022); sin embargo,

cuenta con una gran afluencia turística, tan solo en el mes de enero de este año, se registraron más de 1.3 millones de visitantes (Secretaría de Turismo, 2022). En la Fig. 2 se observa, de la mesoescala a la microescala, el objeto de este estudio. La importancia del estudio de este transecto consiste en conectar

la zona poniente de la ciudad con el centro histórico de la localidad, beneficiando a una gran cantidad de usuarios locales y turistas, y en generar estrategias para favorecer la movilidad peatonal e incrementar la salud humana y ambiental de esta localidad.

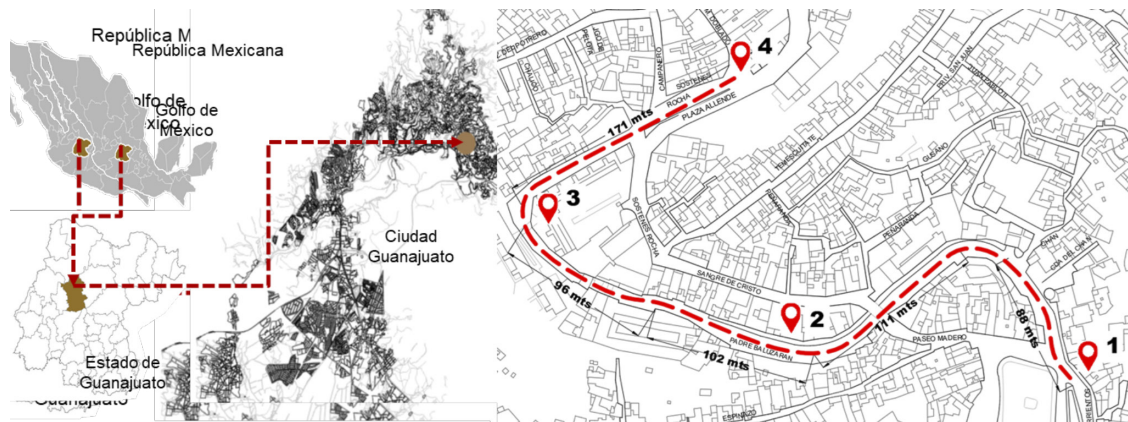


Figura 2. Ubicación del caso de estudio de la mesoescala a la microescala. Fuente: Elaboración propia.

En la Fig. 2, los números 1 al 4 representan las secciones (S1 a S4), para dividir las mediciones. Es decir, en cada sección se determinó tomar datos por 10 minutos, excepto en las S1 y S4, donde se tomaron datos por 30 minutos en cada sección. Los traslados entre cada sección llevaron de 2 a 4 minutos. Como resultado, se obtuvieron 261 datos por cada día de medición para cada variable.

Las variables del cañón urbano que inciden en el comportamiento térmico, fueron analizadas para mejorar el confort exterior con estrategias sustentables. La Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas (Diario Oficial de la Federación, 2012) y el Reglamento de edificación y mantenimiento para la ciudad de Guanajuato y su municipio (Periódico Oficial del Gobierno del Estado, 2011), regulan los criterios de intervención

en esta localidad patrimonial. El Gobierno del Estado cuenta adicionalmente, con el Reglamento para el control patrimonial de bienes muebles e inmuebles del municipio de Guanajuato (Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Guanajuato, 2009). Existen colores oficiales para su uso en el centro histórico, es importante señalar que la normatividad aplicable en esta localidad, no establece criterios o limitaciones sobre el uso de vegetación.

#### 2.1.1. Análisis: Recubrimientos y disponibilidad de árboles.

Gracias a la observación directa y a la información del INEGI, en su apartado Inventario Nacional de Viviendas 2016 (INEGI, Instituto Nacional de Geografía, 2016), se corroboró que el área general donde se ubica el transecto y donde fueron tomadas las mediciones cuenta con un 80% de pavimentación imper-

meable tipo pórfido<sup>1</sup> (Fig. 3A), y el resto un tipo de suelo permeable, donde es intermitente el uso del asfalto o concreto junto al empedrado o adoquín.

Con respecto a la disponibilidad de sombras gracias a la vegetación, la Fig. 3B, patentiza que desde el inicio del recorrido y en sus áreas aledañas el 80% de

su recorrido no tiene protección solar, y el resto se presenta algún tipo de vegetación, especialmente en la S1 que colinda con un jardín público y la S4 que cuenta con árboles aledaños de 3 m de altura aproximadamente. Estas condiciones generan, diferentes tipos de microclimas y sensaciones de confort.

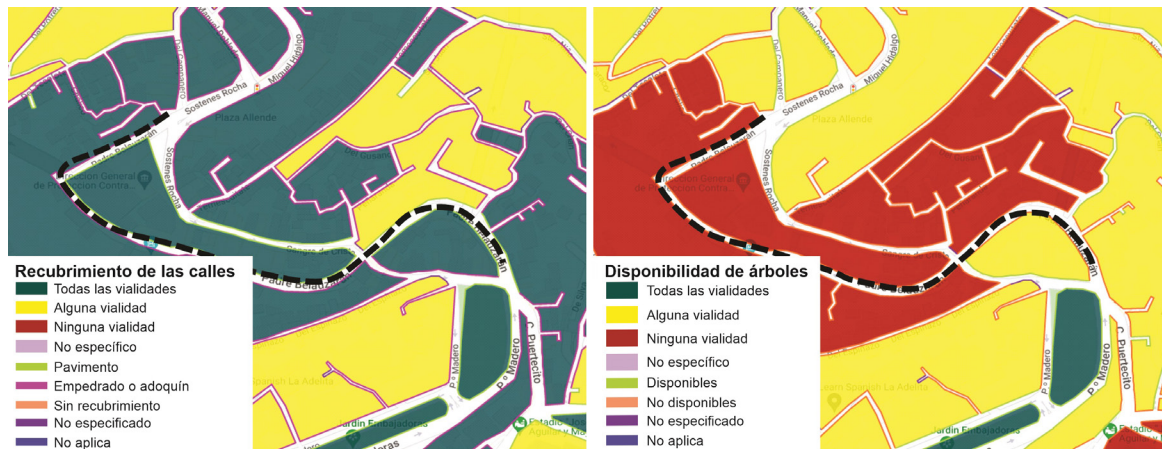


Figura 3. Disponibilidad de recubrimiento de las calles (A) y Disponibilidad de árboles en la zona (B). Fuente: Elaboración propia.

### 2.1.2 Análisis: Comportamiento vehicular.

La consideración del Calor Antropogénico Vehicular ( $Q_{FV}$ ), constituye un factor con potencial para impulsar la falta de confort térmico, por ejemplo, en ciudades como Houston, el calentamiento antropogénico total del sector de vehículos es de  $300 \text{ W/m}^2$  durante la hora pico de la tarde, sobre cuadrículas de análisis de 500m ubicadas en las calles principales (Sailor & Lu, 2004). Por este motivo, en el análisis del transecto, se realizó el conteo del afluente vehicular, donde se establecieron periodos de medición a diferentes horas durante los días de medición. Los datos obtenidos fueron: S1 (12 autos/minuto), S2 (10 autos/minuto), S3 (10 autos/minuto) y en la S4 (8 autos/minuto), dando un promedio de 10 autos por minuto.

En México, el transporte consume más del 45 % de la energía a nivel nacional, y emitió un 95% de las emisiones de CO, 73 % de óxidos de nitrógeno y 15 % de dióxido de azufre (Elizondo & Hernández Amezcua, 2018). Por lo que una propuesta de movilidad sustentable, beneficia la salud pública de los transeúntes y sus zonas aledañas.

### 2.1.3 Análisis: Relación de aspecto.

En la Tabla 2, se exponen datos gráficos y fotografías de cada sección del transecto, que corresponden a la calle Del Padre Belauzarán, punto de conexión entre la zona poniente de la ciudad con su centro histórico.

<sup>1</sup> Roca constituida principalmente por cristales de feldespato y cuarzo incluidos en una masa de color rojo oscuro.

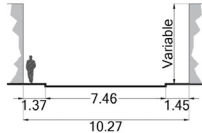
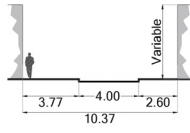
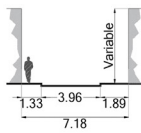
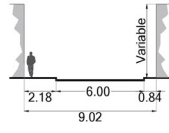








| S1  | S2  | S3   | S4  |
|---|---|--|---|
| 21°00'43.3"N<br>101°14'55.9" W  | 21°00'42.6"N<br>101°15'01.5" W  | 21°00'45.5" N<br>101°15'07.3" W  | 21°00'47.5" N<br>101°15'04.3" W   |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

Tabla 2. Relación de aspecto de la Sección 1 (S1) a la Sección 4 (S4).  
Fuente: Elaboración propia.

Los materiales de rodamiento son impermeables y las envolventes de las construcciones son de tipo pétreo; no se observan grandes sobresalientes en el perfil del área; la abertura o ancho de la calle oscila entre los 7 y 10 metros y, hay una escasa vegetación en ambas banquetas del cañón urbano.

La trayectoria de la calle está conformada por varias curvas abiertas, por lo que constantemente hay un cambio en la orientación del transecto, las edificaciones muestran alturas variadas, la topografía del terreno y la traza urbana de estilo plato roto, genera diferentes alturas y configuraciones. Estas características contribuyen a una variación en la transferencia de calor a lo largo del transecto. A lo largo del trayecto, se presentan sombras por la envolvente que contribuye en la reducción de la temperatura entre las secciones.

#### 2.1.4. Análisis: Climático y Periodo de estudio.

De acuerdo con la caracterización climática desarrollada por (Gómez-Azpeitia, 2016), en esta localidad se desempeña un clima templado sub-húmedo. Las Normales Climatológicas Nacionales en el periodo de 1981-2010 reportaron una temperatura máxima anual de 26.6 °C, una temperatura mínima anual de 11 °C, con temperatura promedio anual de 19 °C (Sistema Meteorológico Nacional, 2020). La precipitación pluvial varía con 712 milímetros anuales. En los meses de junio a septiembre se observaron las mayores incidencias de lluvias alcanzando un valor máximo de 179 milímetros. El mes más lluvioso fue julio y el más árido fue diciembre.

Estudios climatológicos y estadísticos de Guanajuato, a partir de escenarios regionalizados comprueban un cambio en el clima para el periodo del 2010 al



2099, que conllevan un incremento de los eventos de temperaturas máximas extremas y a un decremento de los eventos de temperaturas mínimas extremas, dicho aumento oscila entre 1 a 2 °C, con aumento

en la precipitación de 3mm (Gómez-Mendoza et al., 2017). En la Tabla 3 se observan las principales características climáticas de la localidad de estudio.

| Mes                | Ene   | Feb  | Mar   | Abr  | May   | Jun  | Jul   | Ago   | Sep  | Oct   | Nov  | Dic  |
|--------------------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|------|
| Temp.Máx.Abs.      | 28.9  | 33.6 | 34.7  | 37   | 38.9  | 37.2 | 34.1  | 34.5  | 33.5 | 34    | 29.8 | 29.7 |
| Temp.Máx.Media     | 22.3  | 24.1 | 27.1  | 29.4 | 30.6  | 28.7 | 26.9  | 26.8  | 26.1 | 25.5  | 24.2 | 22.6 |
| Temp.Media         | 14.6  | 16   | 18.4  | 20.8 | 22.3  | 21.7 | 20.5  | 20.4  | 19.9 | 18.6  | 16.6 | 15   |
| Temp.Mín.Media     | 6.9   | 7.9  | 9.7   | 12.2 | 14    | 14.7 | 14.1  | 14.1  | 13.8 | 11.7  | 9    | 7.5  |
| Temp. Mín. Abs.    | -1.5  | -2   | 0.3   | 5.5  | 8     | 9    | 10.4  | 9     | 4.8  | 2.2   | -4   | -4   |
| Precipitación (mm) | 16    | 12   | 9     | 8    | 42    | 137  | 180   | 149   | 123  | 36    | 10   | 10   |
| Horas de sol       | 235.6 | 226  | 266.6 | 261  | 260.4 | 210  | 201.5 | 220.1 | 198  | 244.9 | 252  | 217  |

Tabla 3. Parámetros climáticos promedio de Guanajuato (1951-2010) WPTC. Nota. Los valores de la temperatura se presentan en °C. Fuente: Sistema Meteorológico Nacional, 2020.

Para obtener datos representativos de esta localidad, se determinó tomar mediciones en días representativos de marzo a septiembre, que corresponden a la temporada donde históricamente se presentan las mayores temperaturas y la transición a la temporada de otoño.

## 2.2 Instrumentación y monitoreo

Previo a los datos de observación, se realizaron recorridos en diferentes horas y temporadas, durante el año 2021, para establecer criterios preliminares del periodo y ubicación del monitoreo. Se determi-

no realizar una prueba piloto durante la semana del 21 al 25 de febrero de este año. Como resultado, se establecieron los siguientes criterios para el periodo de monitoreo:

- Periodo: Mediciones durante días representativos de los meses de marzo a septiembre de este año.
- Horario: de 11:00 a 13:10 horas, considerando que los materiales y sistemas constructivos recibieron la radiación solar durante toda la mañana.
- Intervalos de medición: a cada 30 segundos para contar con un número de datos estadísticamente representativos. Se obtuvieron 261 datos por recorrido.

- Altura: ubicada a 1.20 m, punto de ubicación promedio del corazón (Figura 4a).
- Ubicación transversal: a 0.50 m de la fachada, para que no interfiera en la temperatura ambiental, la radiación de estas (Figura 4b).
- Equipos: dispositivos marca Elitech, modelo RC-51h, calibrados previamente durante una semana. Estos dispositivos están diseñados para realizar mediciones de temperatura de bulbo seco y humedad relativa en un rango de (-30 °C a 70 °C) y (5 % a 95%) respectivamente (Figura 4c). Además, se colocó una protección sobre los equipos de medición (Figura 4d).

Se consideró la norma ISO 7626: 1998 Instrumentos para medir cantidades físicas (World Meteorological Organization, 2018), especificaciones para los instrumentos que miden cantidades físicas del medio ambiente, en ambientes cálidos, templados o fríos. Los puntos de medición determinados son resultado de diferentes orientaciones y por lo tanto de diferentes comportamientos en la transferencia de calor.



Figura 4. Dispositivos de medición y arreglo experimental.

Nota. De izquierda a derecha. 4a) Posición de la altura, 4b) Ubicación entre los dispositivos de medición y la envolvente urbana, 4c) Dispositivo de medición y 4d) Protección del equipo de medición. Fuente: Vázquez-Torres, 2022.

Los resultados de medición (temperatura y humedad relativa), se utilizaron para evaluar el estrés térmico a partir del Índice Universal de Clima Térmico (UTCI por sus siglas en inglés), que considera la transferencia de calor con enfoque en el balance de calor humano a partir de la Ec. 1 que se presenta a continuación.

$$UCTI (T_a, T_r, v_a, p_a) = T_a + \text{Offset} (T_a, T_r, v_a, p_a) \quad \text{Ec. 1}$$

La desviación de la UTCI con respecto a la temperatura del aire ( $T_a$ ) se define como el offset y depende de los valores reales del caso de estudio de la temperatura radiante del aire y de la media ( $T_r$ ), de la velocidad del viento ( $v_a$ ) y de la humedad relativa, expresada como presión de vapor de agua ( $p_a$ ) o humedad relativa (RH). El UTCI es definido como la temperatura del aire de la condición de referencia que provoca la misma respuesta del modelo que

las condiciones reales (Błazejczyk et al., 2013); este índice se desarrolló en el 2009 y describe el confort fisiológico del cuerpo humano en condiciones meteorológicas específicas. El UCTI se divide en 10 categorías de estrés que abarcan desde el estrés por calor extremo (por encima de 46 °C) hasta el estrés por frío extremo (por debajo de - 40 °C). Para este caso de estudio, se determinó utilizar el rango de 9 °C a 26 °C establecido para localidades que no presentan normalmente estrés ambiental, que corresponde al clima templado en el que se desempeña el objeto de este estudio.

### 3. Resultados

En la Fig. 5 se presentan los resultados de la evaluación del UCTI para Guanajuato, en esta figura se observan los días de medición, en rojo la línea superior que indica la temperatura de confort superior (TCS),

no se alcanza a visualizar la temperatura de confort inferior (TCI) debido a que los valores no presentaron tareas de calentamiento durante el periodo de medición. En tonos grises, se dividió el tiempo de medición por cada sección (S1 a S4).

Los resultados mostraron una similitud en la trayectoria de los diferentes días y meses, con diferentes oscilaciones. Como se esperaba, los días de medición de mayo presentaron los más altos niveles de estrés térmico, que disminuyó a partir de agosto y se corrobora en septiembre. Se presentó un comportamiento ascendente del estrés térmico, es importante señalar que las mediciones en la S1 reflejaron un mejor confort térmico, esto se debe a la cercanía con el jardín público con árboles de 5 m aproximadamente; en menor medida, se observó un comportamiento similar en la S4.

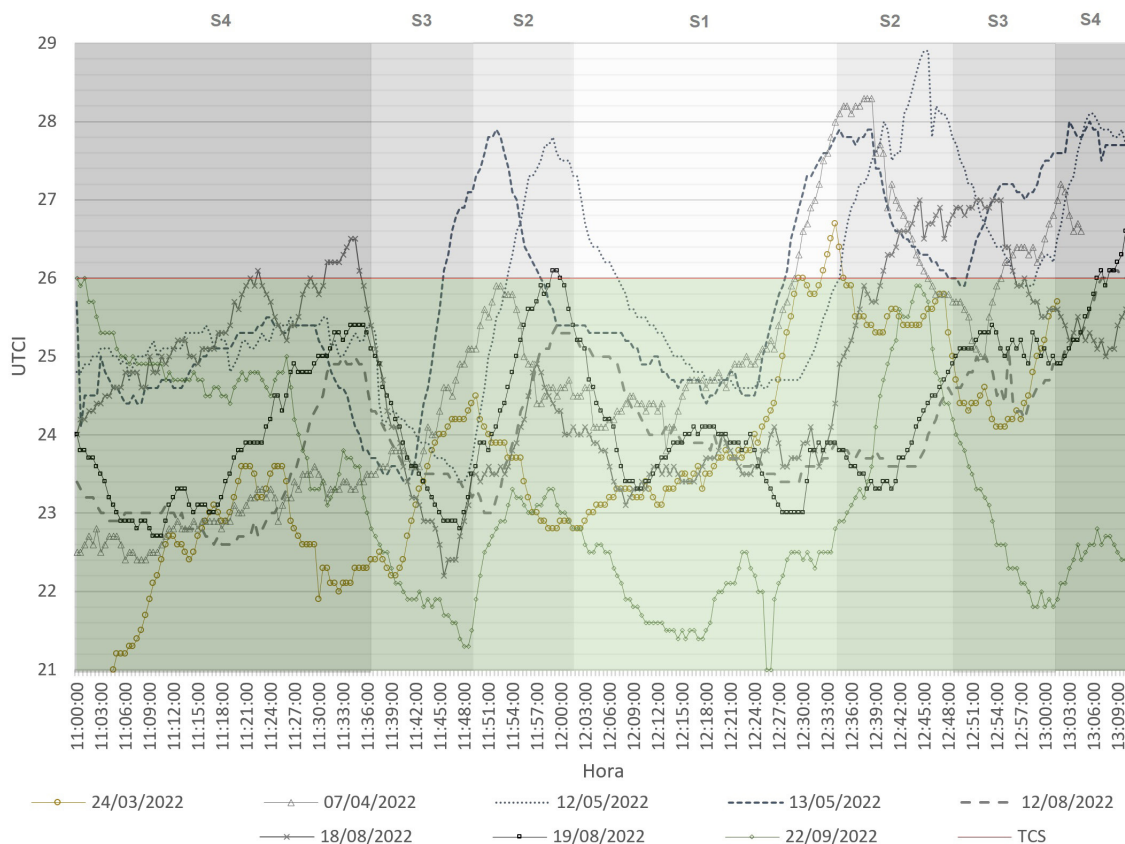


Figura 5. Resultados del Índice del UCTI para Guanajuato.

Fuente: Elaboración propia.

Destaca el incremento del estrés térmico en la S2, con resultados en diferentes horarios durante los meses de medición. Los resultados mostraron necesidades de enfriamiento en esta sección para favorecer la movilidad peatonal. Las características de la S2, generan la oportunidad de proponer una revegetación para favorecer las condiciones térmicas de los peatones.



*Figura 6. S2 del transecto donde se presentaron los más altos niveles de estrés térmico.  
Fuente: Elaboración propia.*

En la S2 se observó un área de oportunidad para establecer estrategias pasivas para enfriar el espacio urbano y promover la movilidad peatonal por las dimensiones, materiales y características físicas que presenta. En la Fig. 6 se observa el espacio disponible para la propuesta de revegetación. Por las limitaciones normativas que implica este espacio patrimonial, se propone contener las raíces en macetas para controlar su crecimiento. El tipo de vegetación propuesta corresponde al dosel vegetal caducifolio, que incrementa su dosel durante el verano y disminuye en el invierno, característica que permite el paso de la radiación en los meses con menor temperatura.

Adicionalmente, se propone analizar las viviendas aledañas a este transecto, para proponer la revegetación en patios con la finalidad de aumentar la vegetación en la zona e incrementar los niveles de humedad relativa, que además contribuye a la disminución del CO<sub>2</sub> en la zona centro de la localidad. Díaz-López et al. concluyeron que la revegetación es una estrategia efectiva a escala urbana (Díaz-López et al., 2022), con capacidad para mejorar el microclima del entorno.

Uno de los compromisos que adquirió el gobierno mexicano en el marco de la Conferencia de las Partes convocada por la Convención Marco para el Cambio Climático, fue la armonización de las políticas públicas la normativa de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), con enfoque estricto para disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> progresivamente hasta el 2025 (Elizondo & Hernández Amezcua, 2018). Este compromiso implica, por un lado, la actualización de políticas energéticas en el entorno urbano, y la evaluación de las estrategias sustentables enfocadas en el sector transporte y la salud humana y ambiental. Especialmente en centros históricos con altos niveles de ocupación, valorados como Patrimonio de la Humanidad.

#### 4. Conclusiones

En este estudio, se realizó un experimento que incluyó un periodo de observación y pre-monitoreo en diferentes días representativos de la temporada de calor, entre los meses de marzo a septiembre; para obtener variables climáticas que permitieron calcular el estrés térmico utilizando un índice internacional, en un transecto que conecta la zona poniente con el centro histórico de Guanajuato.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la localidad es representativa de un clima templado subhúmedo. Los resultados mostraron estrés térmico durante el periodo de monitoreo, especialmente en la S2, don-

de se presentaron los niveles más altos de estrés térmico de acuerdo con el índice internacional UTCI. La envolvente del transecto recibió radiación solar directa en las horas de la mañana, con materiales de construcción como adobe, piedra, cantera, que son considerados de alta densidad y alta inercia térmica. Es importante tener en cuenta que estos materiales, originalmente no fueron considerados para responder a los efectos del cambio climático que se ha desarrollado durante las últimas décadas, y que perjudica el ciclo de vida de los materiales y su salud.

Se ratifica la necesidad de innovar técnicas pasivas en centros históricos para que además puedan ser renovados utilizando recubrimientos en infrarrojo, estrategias para aportar humedad, estrategias de sombreado. Y se considera la necesidad de sistematizar la observación meteorológica en áreas urbanas patrimoniales, para obtener registros periódicos del comportamiento en puntos estratégicos, que permitan la visualización de puntos altos de temperatura y su oportuna intervención en favor de la salud humana y ambiental.

Como área de oportunidad se identifica el desarrollo de propuestas dirigidas a la envolvente, que mejoren el movimiento del viento para disipar calor, creando turbulencias a una altura mayor a 3 metros. Adicionalmente, se observa la oportunidad de extender el período de monitoreo para el registro del comportamiento térmico del cañón urbano a lo largo del año para observar, además, el comportamiento durante la temporada de frío.

Las estrategias propuestas se enfocaron en favorecer la movilidad sustentable y disminuir el estrés térmico. Es pertinente elaborar propuestas de adecuación para propiciar condiciones confortables a los usuarios del espacio urbano, considerando la normatividad aplicable a los espacios públicos patrimoniales a nivel nacional.

## Agradecimientos

La primera autora agradece el financiamiento del CONACYT (CVU No. 181807) a través de una beca posdoctoral. Este producto es producto de la colaboración de la Red Iberoamericana de Eficiencia y Salubridad en Edificios (IBERESE 723RT0151) y la Red Iberoamericana de Pobreza Energética y Bienestar Ambiental (RIPEBA).

## Referencias

- Anderson, M. c., Allen, R., Morse, A., & Kustas, W. (2012). Use of Landsat thermal imagery in monitoring evapotranspiration and managing water resources. *Remote Sensing of Environment*, 122, 50–65. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.025>
- Błazejczyk, K., Jendritzky, G., Bröde, P., Fiala, D., Havenith, G., Epstein, Y., Psikuta, A., & Kampmann, B. (2013). *An introduction to the Universal thermal climate index (UTCI)*. *Geographia Polonica*, 86(1), 5–10. <https://doi.org/10.7163/GPol.2013.1>
- Bröde, P. (2022). *Universal Thermal Climate Index*. <http://www.utci.org/index.php>
- Brysse, K., Oreskes, N., O'Reilly, J., & Oppenheimer, M. (2013). Climate change prediction: Erring on the side of least drama? *Global Environmental Change*, 23(1), 327–337. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.10.008>

Castaldo, V., Rosso, F., Golasi, I., Piselli, C., Salata, F., Pisello, A., Ferrero, M., Cotana, F., & De Lieto Vollaro, A. (2017). Thermal comfort in the historical urban canyon: The effect of innovative materials. *Energy Procedia*, 134, 151–160. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.553>

Dávila Mosquera, S., D'Alencon, R., & Morris, R. (2018). *Oasis en el Desierto : El patio arborizado como estrategia de desarrollo sustentable para el diseño urbano de Diego de Almagro*. <https://static1.squarespace.com/static/5ce1c57d1ecba20001733cda/t/5e2522693e92f9543990b8fa/1579491977093/06.Davila.pdf>

Diario Oficial de la Federación. (2012). *Ley Federal Sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas E Ley Federal Sobre Monumentos y Zonas Arqueologicos, Artisticos E Historicos Capitulo I*. 1–15.

Díaz-López, C., Serrano-Jiménez, A., Verichev, K., & Barrios-Padura, Á. (2022). Passive cooling strategies to optimise sustainability and environmental ergonomics in Mediterranean schools based on a critical review. *Building and Environment*, 221(April). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109297>

Elizondo, A., & Hernández-Amezcu, T. (2018). Regulación de las emisiones de CO2 para vehículos ligeros en México. *Gestión y Política Pública*, 27, 1–24. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-10792018000200571](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792018000200571)

Farhan, S., Akef, V., & Nasar, Z. (2020). The transformation of the inherited historical urban and architectural characteristics of Al-Najaf's Old City and possible preservation insights. *Frontiers of Architectural Research*, 9(4), 820–836. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2020.07.005>

Gómez-Azpeitia, G. (2016). *Caracterización climática, Universidad de Colima*.

Gómez-Mendoza, L., Bello Mendoza, L., & Abigail, C. T. D. (2017). Escenarios regionales de cambio climático para la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda Guanajuato, México. *Acta Universitaria*, 27, 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.15174/au.2017.1077>

González Biffis, A., & Etulain, J. (2018). Problemáticas y estrategias para la intervención y gestión en centros históricos de Italia, España y América Latina. *Cuaderno Urbano*, 24(24), 137–170. <https://doi.org/10.30972/crn.24242925>

Guzman, P. (2020). Assessing the sustainable development of the historic urban landscape through local indicators. Lessons from a Mexican World Heritage City. *Journal of Cultural Heritage*, 46, 320–327. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.06.017>

INEGI, Instituto Nacional de Geografía, E. e I. (2016). *Inventario Nacional de Vivienda*.

INEGI, Instituto Nacional de Geografía, E. e I. (2022). *Población*. Cuéntame de México. <https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/default.aspx?tema=P>

Jamei, E., Jamei, Y., Rajagopalan, Pr., Remaz Ossen, D., & Roushenas, S. (2015). Effect of built-up ratio on the variation of air temperature in a heritage city. *Sustainable Cities and Society*, 14, 280–292. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.10.001>

Lai, D., Liu, W., Gan, T., Liu, K., & Chen, Q. (2019). A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. *Science of the Total Environment*, 661, 337–353. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.062>

Periódico Oficial del Gobierno del Estado. (2011). *Reglamento de edificación y mantenimiento para la ciudad de Guanajuato y su municipio*. <http://www.guanajuatocapital.gob.mx/files/2013-11/Reglamento de Edificacion y Mantenimiento.pdf>

Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Guanajuato. (2009). *Reglamento para el control patrimonial de bienes muebles e inmuebles del municipio de Guanajuato, Gto.* [http://www.guanajuatocapital.gob.mx/files/2019-09/reglamento\\_para\\_el\\_control\\_patrimonial\\_de\\_bienes\\_muebles\\_e\\_inmuebles\\_de\\_guanajuato\\_\(mar\\_2009\).pdf](http://www.guanajuatocapital.gob.mx/files/2019-09/reglamento_para_el_control_patrimonial_de_bienes_muebles_e_inmuebles_de_guanajuato_(mar_2009).pdf)

Ramírez-Rosete, N., González-González, M., & Reyes-Granados, J. (2020a). Estrategias de Preservación del Patrimonio Cultural de los Centros Históricos de Puebla, La Habana y Quito. *Revista de Estudios Andaluces*, 39, 45–65. <https://doi.org/10.12795/rea.2020.i39.03>

Ramírez Rosete, N., Reyes Granados, J., & Calderón-Calderón, B. (2020b). El turismo y su impacto en el patrimonio cultural del centro histórico de Puebla. *Antrópica*, 6, 129–154. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7502424>

Rodríguez-Algeciras, J., Tablada, A., Chaos-Yeras, M., De la Paz, G., & Matzarakis, A. (2018). Influence of aspect ratio and orientation on large courtyard thermal conditions in the historical centre of Camagüey-Cuba. *Renewable Energy*, 125, 840–856. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.082>

Sailor, D. J., & Lu, L. (2004). A top-down methodology for developing diurnal and seasonal anthropogenic heatSecng profiles for urban areas. *Atmospheric Environment*, 38, 2737–2748. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.01.034>

Saito, K., Said, I., & Shinozaki, M. (2017). Evidence-based neighborhood greening and concomitant improvement of urban heat environment in the context of a world heritage site - Malacca, Malaysia. *Computers, Environment and Urban Systems*, 64, 356–372. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.04.003>

Secretaría de Turismo. (2021). *Ciudades Mexicanas Patrimonio Mundial*. Análisis Integral de Turismo. <https://www.datatur.sectur.gob.mx/SitePages/CiudadesPatrimonio.aspx>

Secretaría de Turismo. (2022). *Indicadores de la actividad turística en el Estado de Guanajuato*. [http://www.observatorioturistico.org/cenDoc/6bc88-Boleti--n-Actividad-Turi--stica\\_ENE2022.pdf](http://www.observatorioturistico.org/cenDoc/6bc88-Boleti--n-Actividad-Turi--stica_ENE2022.pdf)

Sistema Meteorológico Nacional. (2020). *Climatic conditions*. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>

United Nations. (2022). *Global temperatures: costs continued to soar in 2021*. 13 September. <https://www.unep.org/news-and-stories/story/global-temperatures-costs-continued-soar-2021>

World Meteorological Organization. (2018). Guía de prácticas climatológicas. In *Organización Meteorológica Mundial* (Vol. 100). [http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo\\_100\\_es.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo_100_es.pdf)

World Meteorological Organization. (2022). *New climate predictions assess global temperatures in coming five years*. 13 September. <https://public.wmo.int/en/media/press-release/new-climate-predictions-assess-global-temperatures-coming-five-years>

Yildirim, M. (2020). Shading in the outdoor environments of climate-friendly hot and dry historical streets: The passageways of Sanliurfa, Turkey. *Environmental Impact Assessment Review*, 80. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.106318>

### **Dra. Claudia Eréndira Vázquez Torres**

Arquitecta por la Universidad de Guanajuato; Maestra en Arquitectura por la Universidad Nacional Autónoma de México; Doctora en Arquitectura por la Universidad de Colima.

Ponente en foros nacionales e internacionales, con publicaciones arbitradas e indizadas bajo la línea de Confort térmico, cambio climático y análisis energético, con énfasis en Diseño Bioclimático y Edificación Sostenible. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, del Registro Estatal de Investigadores en Yucatán y del Laboratorio de Modelado y Optimización de Procesos Energéticos y Ambientales en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, donde actualmente cursa un posdoctorado.



### **Dra. Cristina Sotelo Salas**

---

Arquitecta por la Universidad Autónoma de Baja California; Máster en Arquitectura y Sostenibilidad por la Universidad Politécnica de Cataluña; Maestra en Arquitectura por la Universidad Autónoma de Baja California; Doctora en Arquitectura por la Universidad de Colima.

Miembro de la Academia Institucional de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología de la UABC desde 2021. Ponente en foros nacionales e internacionales, con publicaciones arbitradas e indizadas bajo la línea de Diseño Sostenible, con énfasis en Diseño Bioclimático y Edificación Sostenible. Profesora-investigadora de tiempo completo y Coordinadora de Investigación y Posgrado de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la UABC.

### **Dra. Ruth Maria Grajeda Rosado**

---

Arquitecta por la Universidad Veracruzana (UV), con Especialidad y Maestría en Construcción por la UV; Doctora en Arquitectura por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Ha publicado en revistas nacionales e internacionales y participado en congresos internacionales y nacionales como: el Passive Low Energy Architecture Conference en Hong Kong (2018) y Santiago de Chile (2022), entre otros. Colaboradora del Cuerpo Académico Habitabilidad y Tecnología Sustentable CA-440 de la Universidad Veracruzana. Académico en la UV en el programa de Arquitectura, Ingeniería Civil e Ingeniería Electrónica y Comunicaciones. Coordinadora de la Academia de Edificación del Programa de Arquitectura.



### **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 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
- \*No transformar o modificar el material.