

Una revisión sobre la isla de calor urbana y sus particularidades en zonas desérticas de México

An overview on urban heat island and its particularities in Mexican desert regions

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i12.196>

IRENE MARINCIC LOVRIHA

Universidad de Sonora, México / ORCID: 0000-0002-8609-2748.

Correo electrónico: irene.marincic@unison.mx

Recibido: 31 de agosto de 2021. Aceptado: 19 de abril de 2022.

RESUMEN

El fenómeno de isla de calor urbana es uno de los principales problemas de las ciudades en el siglo XXI. El calentamiento de éstas por encima de las temperaturas rurales adyacentes representa impactos negativos para los habitantes e incrementa los efectos negativos del calentamiento global. En ciudades desérticas con condiciones climáticas muy cálidas, este efecto aumenta el problema, manifestándose con aun más altas temperaturas.

En este trabajo se describe el fenómeno de la isla de calor urbana en general y se profundiza en el fenómeno que tiene lugar en ciudades desérticas, donde el balance de flujos de calor presenta características especiales.

El objetivo de este trabajo es evidenciar las circunstancias ambientales particulares de las ciudades desérticas, relacionadas con el impacto de la isla de calor urbana, y las condiciones de habitabilidad de sus residentes; asimismo, se analizan las dificultades en la aplicación de las estrategias de mitigación.

Se realizó una investigación bibliográfica, principalmente de la última década (aunque parte de la bibliografía básica es más antigua), que

evidenciara los impactos que la isla de calor puede tener sobre la ciudad, los habitantes, el medio ambiente y el planeta en general, a fin de destacar su importancia y problemática, para describir los principales conceptos y antecedentes de investigación en el tema, complementado con apreciaciones sobre las condiciones de habitabilidad en las ciudades desérticas, así como sobre las posibilidades de aplicar estrategias conocidas de mitigación. Las últimas son observaciones empíricas, derivadas de experiencias y situaciones locales en algunas ciudades, particularmente en zonas que forman parte de los desiertos mexicanos.

A fin de analizar el avance en el conocimiento sobre este fenómeno en las ciudades desérticas mexicanas, se describen algunas investigaciones, destacando los objetivos, el método empleado para su estudio y los resultados obtenidos en cuanto al diagnóstico de la problemática.

Finalmente se describen las posibles estrategias de mitigación para el fenómeno, analizando y particularizando los problemas o bien las ventajas de su aplicación en ciudades desérticas, teniendo en cuenta sus circunstancias ambientales y disponibilidad de recursos.



El trabajo aporta una visión actual sobre las circunstancias ambientales en que se encuentran las ciudades del desierto, en particular las mexicanas, evidencia las duras circunstancias de la población para adaptarse al clima local, en especial la más vulnerable, y destaca y particulariza el reto de las ciudades desérticas para mitigar los efectos de la isla de calor.

Palabras clave: isla de calor urbana, desiertos, estrategias de mitigación.

ABSTRACT

The urban heat island phenomenon is one of the main problems of cities in the 21st century. The increase of urban temperatures above the adjacent rural temperatures has negative impacts on the inhabitants and increases the harmful effects of global warming. In desert cities, with very hot climatic conditions, this effect magnifies the problem with even higher temperatures.

This paper describes the phenomenon of the urban heat island in general, and it focuses on the phenomenon that takes place in desert cities, where the balance of heat flows has special characteristics.

This work aims to show the particular environmental circumstances of desert cities related to the impact of the urban heat island on them, and the habitability conditions of its residents. Also, the difficulties in the application of mitigation strategies are analyzed.

Bibliographical research has been carried out, mainly from publications of the last decade (although some of the basic literature is older), to describe the main concepts and background on the subject, complemented with assessments on people's habitability conditions in desert cities, as well as on the possibilities of applying known mitigation strategies. The last are empirical observations, derived from local experiences and situations in some cities, particularly in areas that are part of the Mexican deserts.

In order to analyze the knowledge advances about this phenomenon in Mexican desert cities,

some investigations are described, highlighting the objectives, the method used in each study, and the results obtained, in order to diagnose the problem.

Finally, the possible mitigation strategies for the phenomenon are described, analyzing and specifying the problems or the advantages of its application in desert cities, considering their environmental circumstances and availability of resources.

This work provides a current view of the environmental circumstances of desert cities, particularly Mexican ones, it evidences the harsh circumstances of the population to adapt to the local climate, especially the most vulnerable inhabitants, and it highlights and particularizes the challenge of desert cities to mitigate the effects of the heat island effects.

Keywords: urban heat island, deserts, mitigation strategies.

1. INTRODUCCIÓN

A medida que nuestra civilización avanza, se van incrementando los efectos de varios fenómenos que ocurren paralelamente, tales como el aumento de la población y el incremento de la ocupación y uso del territorio (Ali, Patnaik y Madguni, 2017), así como los efectos derivados del calentamiento y cambio climático global. A esto es necesario sumarle, a nivel urbano, el aumento de temperatura en las ciudades respecto al medio rural, lo que agrava aún más la situación. Este fenómeno es denominado isla de calor urbana, y básicamente es consecuencia de la modificación del clima urbano debido a todo tipo de actividades e intervención humanas. La isla de calor urbana está considerada como uno de los problemas más importantes de la humanidad en el siglo XXI (Shalaby, 2011).

En muchas ciudades y territorios de México y del planeta, el calentamiento global, la isla de calor urbana y sus consecuencias ya son visibles e indiscutibles (Gay García y Rueda Abad, 2015): incendios, inundaciones, huracanes más frecuentes de

lo habitual, así como territorios inundados por el ascenso del nivel del mar, entre otros efectos. Este tipo de fenómenos extremos, y la vulnerabilidad de muchos países ante ellos (como Mozambique, Zimbawe, Bahamas, Japón, Malawi, entre muchos otros) son reportados por Germanwatch en su *Global Climate Risk Index 2021* (Germanwatch, 2021). Muchos de ellos son atribuidos precisamente al cambio climático. Sus efectos son difíciles de controlar, y representan un verdadero desafío para urbanistas, arquitectos, paisajistas y autoridades, quienes tendrían que tomar las medidas necesarias para detener el avance de estos efectos (Gay García y Rueda Abad, 2015). Tanto el cambio climático como la isla de calor son en gran medida una consecuencia, de una u otra manera, de las actividades y decisiones humanas (véase sección 3.1 de este trabajo).

El aumento de las temperaturas urbanas impacta sobre diferentes aspectos de la vida: modifica las condiciones de habitabilidad de los espacios exteriores, impacta sobre el confort térmico al interior de los edificios y aumenta el consumo energético de los edificios (Önder y Akay, 2014). Las elevadas temperaturas conducen al aumento del uso del aire acondicionado (Marincic y Ochoa, 2021) durante el verano, a más emisiones de gases de efecto invernadero (Mohammed, Khan y Santamouris, 2021), así como a la emisión de calor hacia el exterior de los edificios, y por lo tanto a un incremento en la intensidad de la isla de calor urbana, lo que repite el ciclo.

En este trabajo se revisa el fenómeno de la isla de calor en general, sus causas, efectos y posibles medidas para su mitigación, a fin de poner en contexto el tema, para luego abordar el fenómeno específicamente sobre las ciudades desérticas y destacar la importancia del impacto sobre ellas. Se describen además el modo de vida de la población que habita este tipo de ciudades, sus mecanismos para sobrellevar condiciones climáticas extremas, sobre todo en el norte de México, y las condiciones de habitabilidad propiciadas por este fenómeno. Los efectos negativos de la isla de calor son más importantes en ciudades asentadas en los desiertos (climas muy cálidos y secos), que

en las zonas con clima templado o frío, especialmente durante el verano. Al mencionar desiertos, en este trabajo nos referiremos exclusivamente a los desiertos cálidos.

El objetivo de este trabajo es evidenciar las circunstancias ambientales particulares de las ciudades desérticas, relacionadas con el impacto de la isla de calor urbana, y las condiciones de habitabilidad de sus residentes; asimismo, se analizan las dificultades en la aplicación de las estrategias de mitigación.

Las islas de calor en ciudades del desierto presentan condiciones particulares por su tipo de comportamiento térmico día-noche (Lazzani, Marpu y Ghedira, 2013) y asimismo tienen una especial importancia debido a que, además de las condiciones ambientales extremas del desierto, se suma el incremento de temperatura debido al fenómeno de la isla de calor urbana (Givoni, 1998; Emmanuel y Fernando, 2007), lo cual implica un desafío climático adicional al ecosistema urbano y a sus habitantes, quienes aplican estrategias espontáneas para tratar de adaptarse al clima.

México es un territorio con grandes extensiones de clima cálido y templado; las zonas de climas fríos son escasas en comparación con el resto del país. Los climas cálidos abarcan 76.8% de territorio, y de éstos, poco más del 49% corresponde a climas cálido secos (INEGI, 1991). Los principales desiertos con los que cuenta el territorio, donde se presenta clima cálido seco, son: el desierto de Sonora, el desierto de Chihuahua y el desierto de Baja California, además existen zonas semidesérticas (INEGI, 1991). Aunado al aumento de la temperatura por el cambio climático global, se presentan las islas de calor urbanas en las ciudades en general, siendo lo más preocupante las ciudades desérticas, con clima ya de por sí desafiante en cuanto a altas temperaturas (Givoni, 1998). Es importante, por lo tanto, considerar la vulnerabilidad que presenta gran parte del territorio de México y su población ante estos cambios, y tener en cuenta a la isla de calor no sólo como fenómenos locales, sino como parte de un creciente problema nacional y por supuesto global.

Para comprender este contexto, en este trabajo se comienza por describir el tipo de metodología seguida en cada sección, se explica en qué consiste el fenómeno de la isla de calor urbana en ciudades en general, sus causas y efectos, para luego abordar el fenómeno específico en ciudades desérticas. Se explican las situaciones particulares climáticas que impactan sobre los habitantes de este tipo de ciudades y cómo los mismos hacen frente a esta situación, donde intervienen diferente tipo de mecanismos de adaptación térmica, lo que da una idea de las condiciones de habitabilidad en estos entornos. A fin de entender la situación mexicana, se incluyen y analizan algunas investigaciones referentes a este tema llevadas a cabo en diferentes ciudades desérticas de México, así como los objetivos y métodos seguidos en cada caso para su estudio. En la última sección, considerando que es necesario mostrar posibles soluciones a esta problemática, se presentan, entre las diversas propuestas de mitigación a la isla de calor, las más adecuadas para ciudades desérticas, considerando las dificultades y limitaciones específicas en estas zonas.

2. METODOLOGÍA

El presente trabajo de revisión parte de describir de una manera general de qué se trata el efecto de la isla de calor urbana, para luego especificar en qué difiere este fenómeno en ciudades ubicadas en desiertos, destacándose la particularidad del fenómeno en cuanto al balance de los flujos de calor diurnos y nocturnos. En los apartados donde se aborda esta temática se revisó particularmente bibliografía (principalmente de la última década, aunque para la bibliografía básica se utilizaron referencias más antiguas) que evidenciara además los impactos que la isla de calor puede tener sobre la ciudad, los habitantes, el medio ambiente y el planeta en general, a fin de destacar su importancia y problemática.

Además de las circunstancias físicas particulares, se describen algunas características del modo de vivir de la población, que trata de adaptarse a

las duras circunstancias de afrontar la habitabilidad en las ciudades desérticas, lo que se aborda con descripciones basadas en observaciones empíricas, derivadas de situaciones locales en algunas ciudades desérticas, particularmente en el norte de México y parte de Estados Unidos (en zonas que forman parte de desiertos mexicanos).

Profundizando en la situación mexicana, se efectuó una revisión bibliográfica de investigaciones relacionadas con islas de calor en ciudades desérticas de México, encontrándose como información más relevante la correspondiente a los casos ubicados en la zona geográfica de los grandes desiertos del norte de México. La bibliografía que se seleccionó fue la que respondía a la mayoría de las siguientes preguntas planteadas:

1. ¿Qué tipo de impactos sobre la ciudad se estudian?
2. ¿De qué depende la posible distribución espacial de estos impactos?
3. ¿Qué métodos de estudio se emplean?
4. ¿Cuáles son las propuestas de mitigación que se presentan?

Si bien existe un considerable número de investigaciones que responden a estas preguntas, correspondientes a casos en México, no todas son publicaciones indexadas, por lo que se tuvo que descartar parte de ellas. Ésta fue una de las principales limitaciones en la recopilación de la información.

El planteamiento del problema físico y social, así como el diagnóstico de la isla de calor en las ciudades, necesariamente tendría que derivar en información sobre propuestas de mitigación. Se seleccionan y describen estrategias empleadas en ciudades en general mediante investigación bibliográfica, las que se analizan destacando cuáles de ellas tienen limitaciones o bien ventajas en este tipo de condiciones climáticas y ambientales extremas, proponiendo posibles estrategias de mitigación de la isla de calor en ciudades desérticas. El análisis mencionado parte de observaciones sobre las problemáticas locales y opiniones personales basadas en experiencias.

En las conclusiones se resumen las principales aportaciones sobre el análisis de la temática y se proponen soluciones futuras para afrontar el problema.

Se resumen los métodos empleados en este trabajo en la tabla 1.

TABLA 1
Metodología

Sección	Método
3 y 3.1	Investigación bibliográfica enfocada en conceptos e impactos de la isla de calor.
3.2	<ul style="list-style-type: none"> Investigación bibliográfica, destacando particularidades de ciudades desérticas. Observación y análisis sobre modo de habitar las ciudades desérticas e impacto de isla de calor sobre la habitabilidad.
4	Investigación bibliográfica sobre isla de calor en ciudades desérticas mexicanas y sus impactos.
5	<ul style="list-style-type: none"> Investigación bibliográfica sobre propuestas de mitigación en general. Observaciones locales y opiniones personales sobre limitaciones en las estrategias de mitigación en ciudades desérticas.

3. EL FENÓMENO DE LA ISLA DE CALOR URBANA

Las ciudades son producto de la transformación y la urbanización del terreno natural. Los paisajes naturales preexistentes se reemplazan por superficies pavimentadas y construcciones, muchas de ellas con bajo albedo y alta capacidad calorífica, lo que favorece el almacenamiento de calor.

El efecto de la isla de calor urbana es atribuido a las diferencias en los flujos de calor entre la zona urbana y la rural, donde las áreas urbanas típicamente absorben y almacenan más calor sensible que las rurales (Oke, 1982). Las islas de calor se generan debido al incremento de temperatura del aire en la capa dosel urbana en relación con los alrededores rurales de una ciudad. La capa dosel urbana es la capa de aire más cercana a la

superficie en las ciudades, extendiéndose hasta aproximadamente la altura de los edificios (Ouali, El-Harrouni y Abidi, 2017). En la distribución de temperaturas dentro las ciudades, las zonas más afectadas por este fenómeno son en general las más densamente pobladas, con menor cantidad de áreas verdes y con menor disponibilidad de espejos de agua en espacios abiertos, que muchas veces son las condiciones que se presentan en los centros urbanos (Mercado y Marincic, 2021; García-Cueto, Jáuregui-Ostos, Toudert y Tejada-Martínez, 2007).

Durante el día, en las zonas urbanas las superficies se calientan con la radiación solar, particularmente las de bajo albedo, y van absorbiendo y almacenando calor. Este efecto ocurre en menor medida en las zonas rurales adyacentes, sobre todo si las superficies están sombreadas o cubiertas por vegetación. Durante la noche, la situación se revierte: en ausencia de radiación solar, las superficies pueden emitir calor hacia la atmósfera y esto propicia un descenso de la temperatura. Sin embargo, en las ciudades, debido a factores como la geometría de la ciudad en general, rugosidad urbana, estrechos cañones urbanos, entre otros, que dificultan la liberación de los flujos de calor, el aire caliente queda atrapado en la capa dosel, calentando aún más las superficies urbanas, mientras que la zona rural sí tiene la posibilidad de enfriarse (Oke, 2002). Es decir, el fenómeno provoca que las ciudades tiendan a presentar temperaturas mayores que las del medio rural, tanto de día como de noche.

El escenario es un poco diferente en zonas desérticas, fenómeno que se comentará en la sección 3.2.

3.1. CAUSAS Y EFECTOS

Son múltiples las causas del fenómeno de la isla de calor urbana, debido tanto a factores controlables como incontrolables. Entre los factores que se pueden considerar incontrolables existen fenómenos temporales que afectan la temperatura, como cambios en los patrones de viento y la nubosidad, además de características propias de la geografía urbana, como su topografía y su

cercanía a cuerpos de agua (Ouali et al., 2017). Los factores controlables, que dependen más de decisiones humanas, son el tamaño de la ciudad, su densidad, la ocupación del territorio, la geometría urbana (Berardi y Wang, 2016) y orientación de las calles, la proporción H/W (H: altura y W: ancho) del cañón urbano (street canyon) (U. S. Environmental Protection Agency, 2012), el factor de vista del cielo (sky view factor), así como los materiales que conforman sus superficies (O'Malley, Piroozfarb, Farr y Gates, 2014), particularmente las más expuestas a la radiación solar, como pavimentos de calles, estacionamientos y techos de las edificaciones. En este aspecto cumplen un rol principal las propiedades térmicas de los materiales como el albedo, la absorptividad, la capacidad calorífica y la conductividad de las superficies. Los materiales con bajo albedo, alta absorptividad y alta capacidad calorífica propician el almacenamiento de energía térmica y dificultan la emisión del calor durante la noche, lo que hace mucho más difícil enfriar las superficies y el ambiente. Por el contrario, las áreas verdes urbanas y techos verdes, provistos de abundante vegetación que sombrea superficies, ya sea con árboles o con cobertura vegetal, contribuyen al menor calentamiento y almacenamiento de calor en las superficies (Venhari, Tenpiek y Taleghani, 2019).

Por otro lado, en ciudades grandes y densas, con alta concentración de actividades humanas, el calor antropogénico proveniente de las actividades industriales, del tráfico vehicular y de la emisión de calor de los equipos de aire acondicionado, entre otras, aportan una sustancial cantidad de calor al ambiente urbano (Soudoudi, Shahrhohamadi, Vollack, Cubasch y Che-Ani, 2014).

En cuanto a los efectos de la isla de calor urbana, son tanto positivos como negativos (tabla 2). Algunos de los efectos positivos son la mayor duración de periodos de crecimiento de algunos cultivos o temperaturas más benignas durante el invierno (Givoni, 1998). Esto último puede ser favorable o no, dependiendo del tipo de clima específico.

Sin embargo, la gran mayoría de los efectos son negativos. Se mencionan a continuación algunos

de ellos (Arabi, Sharidan, Kamal, Bin Ja'afar y Rakhshandehroo, 2015):

- Incremento del consumo de energía eléctrica (Sedaghat y Sharif, 2022) por aire acondicionado y refrigeración, sobre todo durante la temporada de calor, en todo tipo de edificios.
- Incremento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y contaminantes (O'Malley, Piroozfarb, Farr y Gates, 2014), debido a que muchas de las compañías de suministro de energía eléctrica, que todavía operan con combustibles fósiles, contaminan el ambiente y aumentan el efecto invernadero.
- Serias afectaciones a la salud de las personas (U. S. Environmental Protection Agency, 2012) debido al aumento de las temperaturas diurnas, la disminución del potencial de enfriamiento nocturno y la presencia de contaminantes en la atmósfera, que contribuyen a la falta de confort térmico interior y exterior, problemas respiratorios, agotamiento y calambres, golpes de calor, entre otras enfermedades relacionadas con el calor, e incluso la muerte, además de estrés en las personas, conductas antisociales, y en algunos casos aumento de la violencia doméstica. También cabe destacar, como consecuencia de los impactos en la salud, la disminución del rendimiento laboral y escolar y el aumento de ausencias en el trabajo y las actividades académicas.
- Aumento de la demanda de agua, sobre todo en ciudades desérticas, lo que incrementa a su vez el consumo de electricidad, necesaria para su bombeo y distribución (Shalaby, 2011).
- Cambios en el clima local de las ciudades, modificando patrones de viento y régimen de lluvias.
- Impactos importantes sobre el calentamiento global, ya que la creciente proporción de terreno urbanizado en el mundo contribuye con sus islas de calor y generación de gases de efecto invernadero al calentamiento de todo el planeta. Por lo tanto, contribuir a mi-

mitigar los efectos de la isla de calor ayuda a mitigar los efectos del calentamiento global.

TABLA 2

Efectos de la isla de calor urbana

Tipo de efecto	Efecto
Positivo	Mayor duración de periodos de crecimiento de cultivos.
	Inviernos más benignos (Givoni, 1998).
Negativo	Incremento de consumo de energía eléctrica, particularmente de aire acondicionado y refrigeración (Sedaghat y Sharif, 2022).
	Incremento de GEI y contaminación por la mayor generación de electricidad (O'Malley et al., 2014).
	Afectaciones a la salud física y mental (problemas respiratorios, agotamiento, calambres, estrés, conductas antisociales, disminución de rendimiento laboral y académico) (U. S. Environmental Protection Agency, 2012) y discomfort térmico.
	Aumento de la demanda de agua y consecuentemente de consumo eléctrico (Shalaby, 2011).
	Cambios en el clima local de las ciudades.
	Impacto sobre el calentamiento global.

Por lo expuesto, la formación de islas de calor urbanas es preocupante en cualquier clima, pero lo es más aún en zonas desérticas, donde el clima es ya de por sí extremo. A continuación se describirán particularidades de este tipo de clima.

3.2. ISLA DE CALOR URBANA DE LAS ZONAS DESÉRTICAS Y LA HABITABILIDAD EN SUS CIUDADES

Los ambientes desérticos naturales se caracterizan por amplias oscilaciones diarias de temperatura, baja humedad y, dependiendo de la época del año, en ocasiones fuertes vientos. En la ciudades ubicadas en regiones de desiertos cálidos, donde las temperaturas y la radiación solar son muy elevadas durante el día, las modificaciones en el clima urbano debidas a la isla de calor pro-

vocan estrés térmico adicional al ecosistema urbano (Middel, Häbb, Brazelc, Martind y Guhathakurtae, 2014).

En estas zonas, áridas y muy calurosas, donde es habitual que las temperaturas máximas diarias en verano alcancen entre los 40° y 45° C (García García, 2017) (con máximas extremas de hasta 50° C), el fenómeno de isla de calor tiene características un poco diferentes que en otros climas. En estas regiones la radiación solar es extremadamente alta, los cielos despejados permiten un gran calentamiento de las superficies durante el día y hay escasa humedad en el ambiente. Bajo estas circunstancias, durante el día el suelo natural del desierto abierto, sin vegetación, se calienta a altas temperaturas y transmite calor por convección al aire próximo a la superficie (Oke, 2002). Lo mismo sucede con las superficies urbanas, aunque en este último caso debido a que parte de las superficies pueden estar sombreadas y a que probablemente exista un poco más de evapotranspiración, por la vegetación irrigada, la ciudad alcanzará menores temperaturas (Lazzani et al., 2013). Esto provoca, durante el día, un relativo efecto “oasis” en la ciudad, presentándose el fenómeno de isla fría urbana, causada por sumideros de calor (Nassar, Blackburn y Whyatt, 2017; López, Navarro, Díaz y Navarro-Estupiñán, 2021), en muchos casos debido a la presencia de vegetación. Los cuerpos de agua, si los hubiera, pueden contribuir significativamente al enfriamiento mediante su habilidad de perder calor por evapotranspiración (Nassar et al., 2017; Venhari et al., 2019).

Durante la noche el desierto circundante libera los flujos de calor hacia la atmósfera, donde frecuentemente el cielo está totalmente despejado, enfriándose. Sin embargo en la ciudad, debido a bajos factores de vista del cielo, su geometría urbana y menores velocidades de viento, disminuye el potencial de enfriamiento radiativo y convectivo, y el calor queda en gran medida atrapado en su superficie y capa dosel. Por esto, en las ciudades desérticas la isla de calor se considera un fenómeno nocturno (Lazzani et al., 2013).

Los habitantes de estas regiones tratan de adaptarse al clima y llevar a cabo sus activida-

des de la mejor manera posible. Los mecanismos adaptativos para afrontar las condiciones climáticas pueden abarcar varios tipos de ajustes: cambios fisiológicos para mantener el balance térmico entre cuerpo y ambiente (por ejemplo la sudoración), el mecanismo de aclimatación, mecanismos de adaptación conductual (cambios en vestimenta, de actividad, de consumo de alimentos y bebidas, moverse a otro sitio, abrir o cerrar ventanas, ajustes culturales como la siesta, entre otros), hasta ajustes psicológicos como acostumbramiento y menores expectativas (Brager y de Dear, 1998; Nicol, Humphreys y Roaf, 2012). Varios de estos mecanismos pueden observarse en la población de las regiones mencionadas. En algunas ciudades de los desiertos, particularmente del norte de México, la gran amplitud de las calles y espacios exteriores urbanos dificultan la movilidad peatonal, así como la socialización en espacios exteriores. Debido a las altas temperaturas y radiación solar durante el verano, puede observarse cómo las personas suelen desplazarse entre las escasas sombras de los árboles, pérgolas y pórticos, a fin de minimizar la exposición a la intensa radiación solar, hasta llegar a su destino. Como mecanismo de adaptación en espacios exteriores, la vestimenta que las personas locales utilizan en general, contrariamente a lo que se podría pensar, no es vestimenta ligera, sino que se proveen de camisas de manga larga, frecuentemente de colores oscuros, con el fin de protegerse de la radiación solar. También el uso de sombreros, sombrillas o cualquier objeto disponible para proveerse de sombra, es indispensable durante el tránsito de un sitio a otro.

En general, para la habitabilidad de espacios exteriores e interiores, las personas locales o acostumbradas a las condiciones climáticas de las ciudades desérticas adaptan su estilo de vida a sus circunstancias mediante diferentes mecanismos: por ejemplo, la siesta durante las horas de la tarde, con el fin de tratar de evadir las altas temperaturas, es una costumbre muy habitual. En general, es conveniente que toda actividad física, y movimientos, como caminar, se efectúen de

manera muy lenta para no incrementar la sensación de calor (Brager y de Dear, 1998). De hecho, las actividades físicas en el exterior se realizan preferentemente durante la mañana muy temprano o durante la noche.

Por otro lado, los mecanismos fisiológicos y psicológicos del cuerpo humano para adaptarse al medio ambiente desértico hacen que el rango de confort de las personas aclimatadas a estas condiciones sea más amplio y su temperatura de neutralidad sea mucho más alta (Ochoa, 2017), comparado con otros estudios de confort térmico para otros climas (Givoni, 1998; Gómez-Azpeitia, Bojórquez-Morales, Ruiz, Marincic, González y Tejeda, 2014). Un amplio estudio realizado por Gómez-Azpeitia et al. (2014) reveló variaciones en los rangos de confort de la población aclimatada, correspondiente a ciudades en varios climas diferentes, de entre 6.8° y 15.3° C.

Los factores conductuales, sociales, culturales, así como las expectativas y el grado de aclimatación de cada grupo poblacional ayuda a sobrellevar las condiciones térmicas adversas interiores y exteriores. Sin embargo, hay que tener en cuenta que este tipo de situaciones en muchos casos puede disminuir la productividad laboral y, más importante, implica riesgos a la salud, sobre todo en los grupos más vulnerables, lo que hace verdaderamente difícil habitar los desiertos urbanos, a lo que debe sumarse los efectos de la isla de calor urbana. Los riesgos a la salud son particularmente preocupantes durante los periodos en que se presentan “olas de calor” (Zou, Yan, Yu, Jiang, Ding, Qin, Wang y Qiu, 2021), lo que puede ocurrir varias veces al año. Todos estos efectos negativos se magnifican, además, de acuerdo con la vulnerabilidad de las personas: población de zonas social y económicamente marginadas, de edades críticas (adultos mayores y niños) o con enfermedades crónicas, con bajo nivel de educación y de ingresos, con discapacidad, con aislamiento lingüístico y según las condiciones de habitabilidad de cada vivienda (Hamstead y Sauer, 2021; Mohammed et al., 2021; Navarro-Estupiñán, Robles-Morua, Díaz-Caravantes y Vivoni, 2020).

Como consecuencia lógica, bajo las circunstancias descritas aumenta la demanda de energía eléctrica para enfriamiento, lo que impacta sobre la economía local (Mohammed et al., 2021).

En resumen, las condiciones cálidas extremas de los desiertos urbanos impactan de manera importante sobre la calidad de vida de los habitantes de las ciudades, limitando sus desplazamientos y horarios, aumentando su vulnerabilidad, provocando riesgos en su salud e impactando sobre su economía.

En la siguiente sección se presentan estudios de islas de calor urbanas en ciudades de México, considerando las preguntas de investigación planteadas en la metodología, a fin de visualizar las condiciones actuales de este fenómeno.

4. ESTUDIOS SOBRE ISLAS DE CALOR EN CIUDADES DESÉRTICAS DE MÉXICO, METODOLOGÍAS EMPLEADAS Y RESULTADOS

En México se ha abordado la problemática de la isla de calor desde hace varias décadas, comprendiendo su importancia y posible mitigación, llevando a cabo investigaciones en diferentes ciudades mediante métodos diversos, dependiendo de los objetivos y de la disponibilidad de recursos materiales y humanos. En general, lo que se pretende detectar son los efectos de los diferentes aspectos de la urbanización sobre el aumento de temperaturas urbanas respecto de las rurales, su distribución e intensidad. Se ha estudiado este fenómeno en numerosas ciudades mexicanas, como la Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey, Tampico, Poza Rica, entre otras. A continuación se presentan algunos ejemplos de investigaciones en ciudades mexicanas localizadas en desiertos. El criterio de selección de los casos fue el de responder a las preguntas de investigación planteadas en el apartado de metodología. Es necesario mencionar ciertas limitaciones en la búsqueda de publicaciones, comentadas también en la sección de metodología. Los estudios más completos que se encontraron, que responden total o parcialmente a estas inquietudes, corres-

ponden a ciudades ubicadas en los grandes desiertos del norte de México.

En ciudades desérticas como Mexicali, Baja California (García-Cueto et al., (2007) estudiaron la relación entre isla de calor y uso de suelo. Al analizar datos de estaciones meteorológicas de la zona urbana Mexicali (MX)-Caléxico (EUA), complementados con imágenes satelitales, se determinó la distribución de diferentes variables climáticas en la zona. Los resultados se contrastaron con la distribución de usos de suelo en cuanto a zonas residenciales, industriales, áreas verdes, uso mixto, equipamiento, infraestructura, zonas agrícolas y dunas. Sus hallazgos relacionan el tipo de urbanización con cambios en el balance de flujos de calor, lo que cambia los perfiles de temperatura y la distribución de temperaturas en las zonas urbana y rural, durante los ciclos diurnos y nocturnos. En las zonas residenciales, comerciales, industriales y de infraestructura fue donde se presentaron las temperaturas urbanas más altas. Sin embargo, en los terrenos desocupados urbanos (baldíos) y en las áreas desérticas se presentaron temperaturas aún mayores. El tráfico vehicular, sobre todo en el paso fronterizo con Estados Unidos, se detectó como una causa de altas temperaturas.

En la ciudad de Hermosillo, Sonora, se estudió la intensidad y la distribución de la isla de calor urbana mediante una combinación de estaciones meteorológicas fijas y mediciones móviles de variables climáticas, entre otras, de temperatura del aire y temperatura superficial, siguiendo transectos establecidos. Dentro de la ciudad se detectaron temperaturas más elevadas en zonas con mayor densidad urbana, más tránsito vehicular y menor presencia de vegetación. Se complementa la información con mapas satelitales de temperatura superficial, donde se aprecia durante el día mayores temperaturas en los corredores comerciales densamente urbanizados y con alto tránsito vehicular, así como en la zona industrial y las zonas desérticas rurales. En trabajos posteriores (Mercado y Marincic, 2021) se identifica la isla de calor urbana de Hermosillo con valores negativos durante el día y positivos durante la noche,

es decir, como un fenómeno nocturno, ya que durante el día se presentan temperaturas superficiales y ambientales más elevadas en el desierto natural que en la ciudad. También en la ciudad de Hermosillo (López et al., 2021) llevaron a cabo un estudio muy completo sobre la distribución e intensidad de la isla de calor (mosaico de zonas cálidas y frescas), destacando particularmente el efecto positivo de las áreas con vegetación en la disminución de las temperaturas, presentándose como “oasis” urbanos. Relacionan además el porcentaje de cobertura vegetal con la distribución de temperaturas y lo comparan con el de otras ciudades desérticas mexicanas. Destacan también el efecto positivo de los techos de alto albedo. En otros estudios de esta misma ciudad, se aborda el tema de la vulnerabilidad de la población al calor, elaborando mapas de riesgo (Navarro-Estupiñán et al., 2020; Hamstead y Sauer, 2021). Considerando la alta mortalidad debido a los efectos de calor, se vinculó la distribución urbana de temperaturas con indicadores socioeconómicos de vulnerabilidad al calor. Los mapas de riesgo resultantes pueden ser una herramienta útil para la planeación eficaz de estrategias de mitigación del calor.

En Ciudad Juárez, Chihuahua, también se ha estudiado la relación entre la vegetación urbana y la isla de calor (Salas y Herrera, 2017). Se cuantificaron los efectos de disminución de las temperaturas urbanas en las zonas con vegetación (diferenciando qué tipo de vegetación) y que ayudan en la mitigación de la isla de calor urbana. En este caso las mediciones de temperatura del aire se efectuaron con data loggers en los sitios analizados.

El tema de los efectos de la vegetación se aborda también en un estudio en la ciudad de Torreón, Coahuila (Flores-de la O, Villanueva-Solís y Quiroa-Herrera, 2018), donde se cuantifican los efectos de la vegetación en un parque urbano, para demostrar que la misma funciona como sumidero de calor en la ciudad. Se analiza además cómo el tipo de arborización influye en el nivel del control del microclima. Los datos se obtienen

también mediante mediciones de la temperatura del aire in situ con el uso de data loggers.

Tanto en las investigaciones de Mexicali (García-Cueto et al., 2007) como en las de Hermosillo (Mercado y Marincic, 2021) se corrobora el efecto “oasis” diurno de la temperatura urbana y el carácter nocturno de la isla de calor. Las zonas densas comerciales e industriales (y en algunos casos zonas residenciales) con intenso tráfico vehicular, presentan las mayores temperaturas de la ciudad en ambos casos. Por otro lado, en los terrenos baldíos sin vegetación dentro de la mancha urbana, cercanos a las áreas desérticas periféricas a la ciudad, se produce el mismo fenómeno que en el desierto abierto no urbanizado, es decir, se registran igualmente muy altas temperaturas.

Entre los estudios encontrados, son relativamente pocas las investigaciones que relacionen los efectos físicos de la isla de calor con los efectos sobre las personas.

A pesar de tratarse de ciudades desérticas, el aspecto de la presencia de la vegetación en zonas urbanas se menciona frecuentemente, siendo tema puntual de investigación en algunos casos. Uno de los motivos es el gran impacto que tiene en la disminución de temperaturas superficiales y del aire. En este tipo de ciudades, sin embargo, diseñar, crear y mantener áreas verdes, aunque parezca una estrategia sencilla y económica, es una tarea verdaderamente difícil debido a las condiciones ambientales.

En las investigaciones que se mencionaron se emplearon con frecuencia mapas satelitales para evidenciar la distribución de las temperaturas superficiales; también se utilizaron mediciones de temperaturas del aire mediante monitores móviles a lo largo de recorridos predeterminados. Este tipo de datos se relacionan con otras variables, ya sea uso de suelo, tráfico vehicular, densidad de construcción, cobertura vegetal, indicadores socioeconómicos, etc., para vincular causas y efectos. Es importante también el tipo de modelos matemáticos que se elaboran y utilizan para el manejo y procesamiento de los datos.

La isla de calor en las ciudades es un fenómeno que se debe estar monitoreando y, de preferencia, controlando permanentemente, ya que el aumento poblacional, la mayor urbanización y el aumento del tráfico vehicular, entre otros factores, hacen que el fenómeno, si no se toman las medidas de mitigación adecuadas, siga una tendencia de aumento de intensidad con el tiempo.

Algunas iniciativas abordadas en México, aunque aún con escaso impacto, son políticas públicas como la de NAMA para Vivienda Sustentable en México (basada en NAMA Acción Nacional Apropiada de Mitigación, que es una opción de mitigación en la producción y efectos de los gases de efecto invernadero para los países en desarrollo, en el contexto de la negociación sobre acción cooperativa a largo plazo). Esta política se instrumenta a través de un sistema de calificación de la vivienda verde (Sisevive-Ecocasa) para poder acceder a créditos para vivienda nueva. Por otro lado, existen iniciativas para abordar el déficit de vivienda mediante la creación de desarrollos urbanos integrales sustentables (DUIS) en diferentes zonas de México, que consisten en construir fraccionamientos planeados con criterios sustentables y de mitigación al cambio climático, que contribuyen al ordenamiento territorial de los estados y municipios y promueven un desarrollo urbano más ordenado, justo y sustentable.

Para seguir con aspectos referentes a la solución de la problemática de isla de calor y las propuestas urbanas sustentables, se presentan a continuación propuestas urbanas de mitigación para ciudades en general, destacando las particularidades de estas propuestas para ciudades desérticas.

5. PROPUESTAS GENERALES PARA LA MITIGACIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANA EN CIUDADES DESÉRTICAS

Son conocidas las posibles medidas de mitigación de la isla de calor urbana, para ciudades en general, que podrían impactar de forma favorable sobre la disminución de la isla de calor (U. S. Environmental Protection Agency, 2012), como

el control del calor antropogénico (causado por tráfico vehicular, industria y actividades humanas en general), desarrollo de geometría urbana que favorezca el sombreado diurno y el enfriamiento nocturno, uso de superficies de materiales con propiedades térmicas y radiativas capaces de reducir las temperaturas superficiales, sobre todo en pavimentos y techos (cool materials), incremento de la vegetación en la ciudad, uso de elementos urbanos de protección solar, así como la incorporación de elementos paisajísticos con presencia de agua para favorecer el enfriamiento evaporativo, entre otras estrategias. Dependiendo de las causas más importantes que generan y aumentan la isla de calor en una determinada ciudad, se podría planear e implementar las medidas más adecuadas para su control y mitigación.

De manera resumida, se presentan las medidas generales de mitigación para ciudades en general (tabla 3), destacando algunas particularidades para ciudades desérticas.

El calor antropogénico, una de las causas de aumento de temperatura, se puede controlar mediante medidas como:

- La gestión de la ciudad en cuanto a movilidad (Padilla Galicia, 2019), que incluye vehículos, transporte público, ciclistas y peatones, se debe entender como un sistema integral, que tienda a evitar congestiones viales, ofrezca oportunidades de movilidad de acuerdo con diferentes distancias, y reduzca la emisión de contaminantes y el consumo de energía, sobre todo el de combustibles fósiles. Otra parte de esta medida es incentivar el uso de transporte eléctrico o híbrido, tanto público como privado, así como el de celdas de combustible.
- La regulación y control del calor y las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por las actividades industriales.

En cuanto a los aspectos a tener en cuenta para la planeación del crecimiento urbano que pueden impactar a mediano y largo plazo sobre la temperatura de las ciudades, se pueden mencionar:

- La densidad de la ciudad, orientación de la traza urbana y las dimensiones del cañón urbano son factores que determinan su comportamiento térmico. Las ciudades más densas por lo general presentan más construcciones verticales, capaces de sombrear parcialmente las calles y fachadas durante la incidencia de la radiación solar, lo que permite acumular menor cantidad de calor en las construcciones. La densificación favorece también la disminución de la movilidad vehicular que, como se mencionó, es una fuente de calor antropogénico y de contaminación. Los cañones urbanos más estrechos permiten mayor sombreado, pero por otro lado, favorecen el intercambio de radiación infrarroja entre las diferentes superficies verticales y horizontales, lo que incrementa el calor acumulado (Soudoudi et al., 2014). Si se considera una traza urbana compacta, los edificios altos benefician el sombreado y sin embargo disminuyen el factor de cielo visto, lo que dificulta el enfriamiento nocturno. En cambio, ciudades compactas con alturas más bajas y uniformes se benefician de un comportamiento diurno y nocturno más adecuado. Un plan de densificación urbana disminuiría, por otro lado, los terrenos urbanos desocupados o baldíos, que en climas desérticos presentan sobrecalentamiento de su superficie en ausencia de vegetación.

Las calles con abundante y frondoso arbolado vial también favorecen el sombreado, disminuyendo el factor de cielo visto (Venhari et al., 2019). Pero durante la noche las copas de los árboles impiden el enfriamiento radiativo. Es necesario, por lo tanto, encontrar la proporción justa que satisfaga el comportamiento térmico diurno y nocturno (Correa, Sosa, Cantón y Ruiz, 2021).

- Es necesario que las superficies construidas, sobre todo horizontales, estén provistas de materiales de alto albedo y baja capacidad calorífica (Arabi et al., 2015), lo que disminuiría la absorción y el almacenamiento de calor y podría favorecer el enfriamiento radiativo,

sobre todo durante la noche. Es también deseable que las superficies de calles, banquetas y estacionamientos sean permeables (Ouali et al., 2017) con el fin de favorecer la recarga de mantos acuíferos y la humidificación del ambiente, lo que en climas secos provoca un efecto favorable de enfriamiento evaporativo.

- La creación y mantenimiento de espacios verdes urbanos con vegetación, como arbolado vial, vegetación cubresuelos, techos verdes, muros verdes, que favorecen el sombreado de las superficies, disminuyendo la absorción y almacenamiento de calor en las superficies urbanas (Gunawardena et al., 2017), ya que la vegetación no almacena calor. En el caso de los techos verdes, además de sombrear, la vegetación proporciona cierto nivel de aislamiento térmico. Los muros verdes además impiden las sucesivas reflexiones de radiación infrarroja dentro del cañón urbano, lo que contribuye a disminuir el calentamiento de las fachadas. Los espacios públicos verdes se pueden planear como ejes o bien redes de áreas con vegetación dentro del tejido urbano, que funcionarían como sumideros de calor. Estos espacios propiciarían áreas exteriores con microclimas más habitables (Louafi-Bellara y Abdou, 2016), donde el sombreado, el efecto de la evapotranspiración, el enfriamiento evaporativo (si se contara con la presencia de agua en fuentes, espejos de agua, etc.) y la posible ventilación, serían estrategias aplicables que tendrían el potencial de controlar el clima a escala local, y en una red de áreas verdes, a nivel urbano. La planeación de una red de infraestructura verde (vegetación) y azul (agua) puede contribuir en gran medida a las estrategias de enfriamiento de las ciudades (Gunawardena, Wells y Kershaw, 2017).

Estas medidas muy generales dependen del clima, de la incidencia solar y de la configuración del relieve de la zona urbana, entre otros factores.

Las ciudades desérticas, sin embargo, por su condición de calor extremo y escasez de agua

encuentran algunas dificultades para adoptar algunas de estas estrategias, lo que se comentará a continuación.

- Los espejos de agua, cascadas, fuentes y otros elementos paisajísticos que favorecen el enfriamiento evaporativo (O'Malley et al., 2014), sobre todo en climas secos, son una opción a la que en muchos casos no se recurre debido a la escasez de agua en estas regiones (INEGI, 1991).
- La escasez de agua en zonas desérticas debida a las escasas precipitaciones (INEGI, 1991), dificulta seriamente el riego y mantenimiento de la vegetación, sobre todo en espacios públicos, por lo que frecuentemente las autoridades desisten de ocuparse de tal misión y el cuidado queda, cuando hay interés, en manos de privadas (ciudadanos y comerciantes). La vegetación proporciona múltiples beneficios a la ciudad y a sus habitantes, creando microclimas habitables y favoreciendo la reducción de las temperaturas, pero es un bien difícil de mantener en ciudades desérticas (Flores-de la O et al., 2018). Algunas medidas necesarias para planear el enverdecimiento de una ciudad serían, por un lado, la utilización de vegetación nativa o adaptada a la región (en cuanto a radiación solar, vientos, riego) y de bajo consumo de agua, para optimizar el agua empleada para el riego (Salas y Herrera, 2017). Si bien el diseño de paisajes xéricos para áreas exteriores podría ir en este sentido, este tipo de vegetación produce escasas sombras sobre las superficies, propiciando el calentamiento del suelo, por lo que cumpliría sólo una función ornamental. Otro recurso para optimizar el consumo de agua es el uso de sistemas de riego automatizados que regulen la cantidad de agua y la suministren de manera óptima, preferentemente con agua reciclada. Por otro lado, algunos estudios evidencian cómo se puede optimizar la configuración de la geometría urbana y las áreas verdes para disminuir las temperaturas diurnas en zonas desérticas. En la ciudad de Phoenix, Arizona, se estudian diferentes

diseños paisajísticos bastante habituales para el diseño de áreas exteriores con vegetación en la zona, obteniendo resultados sobre los diferentes microclimas, usando vegetación tipo oasis, mésica y xérica, en combinación con diferentes opciones de densidad y altura de construcción (Middel et al., 2014).

- Respecto a la configuración urbana, en algunas ciudades en el desierto de Sonora como Phoenix (Emmanuel y Fernando, 2017), Mexicali (Lucero Velasco, 2002), Hermosillo y otras en el desierto de Chihuahua, como Chihuahua y Ciudad Juárez, por ejemplo, las calles son muy amplias, la altura de los edificios es de pocos niveles en promedio y los espacios exteriores se presentan como áreas tipo explanada, de considerable superficie y sin sombreado. Esta configuración permite el calentamiento de las superficies durante todo el día y su almacenamiento en materiales de alta capacidad calorífica. Por otro lado, la geometría de las calles no facilita, en general, la reflexión sucesiva de la radiación infrarroja en los cañones urbanos (lo que incrementaría el almacenamiento de calor en las superficies horizontales y verticales), por lo que hasta cierto punto, esta geometría favorece el enfriamiento nocturno. Aunado a esto, el alto factor de vista del cielo permite que durante la noche haya mayor potencial de enfriamiento radiativo.
- La configuración tan extendida en el territorio de algunas ciudades como las mencionadas, dificulta la aplicación de otra de las estrategias apropiadas para mitigar la isla de calor: la disminución del tráfico vehicular (Ouali, 2017). La movilidad tanto peatonal como en bicicleta, que serían alternativas para disminuir el calor antropogénico generado por los vehículos, evidentemente resultan complicadas y hasta perjudiciales para la salud bajo temperaturas extremas y largos recorridos.

TABLA 3
Estrategias de mitigación de la isla de calor urbana

Objetivo	Estrategia	Particularidad en ciudades desérticas
Disminuir el calor antropogénico	Gestión de la movilidad (Padilla Galicia, 2019) para disminuir uso de vehículos con combustibles fósiles.	En algunas ciudades desérticas muy extendidas en el territorio, con calles amplias, se dificulta la movilidad peatonal y en bicicleta, por lo que se recurre a la movilidad vehicular.
	Control de calor y contaminación de industrias.	Misma estrategia.
Disminuir el calor recibido y acumulado en las superficies urbanas	Geometría de la ciudad. Densificación.	Algunas ciudades desérticas con calles y espacios públicos muy amplios favorecen el calentamiento debido a altos niveles de radiación solar (Soudoudi et al., 2014). Como ventaja, se produce poca reflexión infrarroja dentro de los cañones urbanos y la configuración favorece el enfriamiento radiativo nocturno.
	Uso de materiales con propiedades térmicas que propicien baja absorción y bajo almacenamiento de calor (Arabi et al., 2015) y pisos exteriores de materiales permeables (Ouali et al., 2017).	Uso generalizado de materiales de acabado en los techos con alta reflectividad, lo que permite menor absorción de la radiación solar y mayor posibilidad de enfriamiento nocturno (Arabi et al., 2015; Ouali et al., 2017).
	Uso de vegetación para sombreado y creación de microclimas urbanos (Gunawardena et al., 2017).	Es necesario utilizar vegetación nativa o adaptada que resista altas temperaturas, alta radiación solar y poco riego. Es conveniente utilizar sistemas de riego automatizado (Salas y Herrera, 2017) con agua tratada.
	Uso de elementos paisajísticos con agua para propiciar el enfriamiento evaporativo (O'Malley et al., 2014).	Tienen gran potencial de enfriamiento debido al ambiente seco, pero se dificulta su aplicación por la escasez de agua.

Como cierre de esta sección sobre propuestas generales, considerando que México tiene una gran extensión de zonas desérticas y semidesérticas, se puede mencionar, como una opinión personal, que la situación del crecimiento acelerado de muchos conglomerados urbanos en México, incluyendo ciudades desérticas, daría la oportunidad de crear fraccionamientos y sectores nuevos diseñados con criterios sustentables, en especial aplicando estrategias de mitigación de los efectos de isla de calor, que beneficiarían además de a los habitantes locales, a una buena parte de la ciudad. Por esto, hay una posibilidad concreta de revertir la situación actual en cuanto a isla de calor en ciudades mexicanas mediante la creación de asentamientos más sustentables en sectores nuevos de las ciudades.

6. CONCLUSIONES

El calentamiento de las ciudades debido fundamentalmente a la urbanización es un problema creciente, con efectos para los habitantes que incluyen aspectos de salud y calidad de vida, de consumo de energía y agua, así como de deterioro del ambiente urbano. Asimismo, el efecto de isla de calor urbana contribuye al incremento del calentamiento global.

Las soluciones, aunque no son ni fáciles ni de efecto inmediato, han sido estudiadas extensamente y en algunas ciudades ya se han ido implementando. En las ciudades desérticas el fenómeno de isla de calor presenta un comportamiento un poco diferente al resto de las ciudades, al manifestarse fundamentalmente durante la noche. Estas condiciones particulares hacen

que las estrategias de mitigación deban ser implementadas selectivamente, de acuerdo con las posibilidades que las condiciones climáticas y los recursos (como el agua) permiten, lo que se ha comentado y destacado en este trabajo. El mismo está apoyado tanto por bibliografía básica, por bibliografía de investigaciones relativamente recientes, como por reflexiones basadas en los hallazgos de los diversos autores citados, así como por experiencias y observaciones personales de vivir y analizar las circunstancias de habitar en el desierto.

Los conceptos básicos sobre el fenómeno de isla de calor en general e isla de calor en ciudades desérticas están referenciados con investigaciones pertinentes a los diferentes temas. Además, se describieron investigaciones específicas sobre isla de calor en ciudades desérticas mexicanas, para conocer su problemática específica. Se describen, además, las condiciones de habitabilidad de los habitantes de las ciudades desérticas, en particular las del norte de México, y se proponen estrategias de mitigación de la isla de calor urbana acordes con estas ciudades, teniendo en cuenta la situación específica.

Considerando la situación que se describe, en México es imprescindible la implementación de políticas públicas de planeación urbana, reglamentación de la construcción y en general del funcionamiento de las ciudades que favorezcan la mitigación de la isla de calor y sus consecuencias.

En este trabajo se aporta una visión actual sobre las circunstancias ambientales en las que se encuentran las ciudades del desierto, en particular las de México, para afrontar el reto de mitigar los efectos de la isla de calor. Además, se evidencian las duras circunstancias de la población para adaptarse al clima local, en especial la más vulnerable, y para lograr condiciones aceptables de habitabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ali, S. B., Patnaik, S., y Madguni, O. (2017). Microclimate land surface temperatures across urban land use/ land cover forms. *Global Journal of*

- Environmental Science and Management*, 3(3), número de serie 11, verano, pp. 231-340. doi: 10.22034/gjesm.2017.03.03.001.
- Arabi, R., Sharidan, M. F., Kamal, M. S. M., Bin Ja'afar, M. F. Z., y Rakhshandehroo, M. (2015). Mitigating urban heat island through green roofs. *Current World Environment*, vol. 10, número especial 1, pp. 918-927. doi: <http://dx.doi.org/10.12944/cwe.10.Special-Issue1.111>.
- Berardi, U., y Wang, Y. (2016). The Effect of a Denser City over the Urban Microclimate: The Case of Toronto. *Sustainability*, núm. 8, pp. 8-22. doi: <https://doi.org/10.3390/su8080822>.
- Brager, G. S., y de Dear, R. J. (1998). The adaptation to the built environment: A literature review. *Energy and Buildings*, núm. 27, pp. 83-96. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00053-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00053-4).
- Correa, E. N., Sosa, M. B., Cantón, M. A., y Ruiz, M. A. (2021). Urban morphology as a mitigation strategy of urban warming in "oasis cities" of arid regions. En: M. Palme, y A. Salvati (eds.), *Urban Microclimate modelling for Comfort and Energy Studies* (pp. 419-442). Suiza: Springer Nature. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-65421-4_20.
- Emmanuel, R., y Fernando H., J. S. (2007). Urban heat islands in humid and arid climates: Role of urban form and thermal properties in Colombo, Sri Lanka and Phoenix, USA. *Climate Research*, vol. 34, pp. 241-251. doi: 10.3354/croo694.
- Flores-de la O, J. L., Villanueva-Solís, J., y Quiroa-Herrera, J. A. (2018). Evaluación de los efectos microclimáticos que tiene la vegetación en la mitigación de la isla de calor urbana: Parque en la ciudad de Torreón, México. *Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci)*, 52(2): 123-140. doi: <http://dx.doi.org/10.15359/rca.52-2.7>.
- García-Cueto, O. R., Jáuregui-Ostos, E., Toudert, D., y Tejeda-Martinez, A. (2007). Detection of the urban heat island in Mexicali, B. C., México and its relationship with land use. *Atmósfera*, 20(2): 111-131.
- García García, A. (2017). *Habitar el Norte*. México: Tilde Editores/Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Gay García, C., y Rueda Abad, J. C. (Coords.). (2015). *Reporte mexicano de cambio climático libro 2: Impactos, vulnerabilidad y adaptación*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

- Germanwatch. (2021). Global Climate Risk Index 2021. Recuperado de: <https://www.germanwatch.org/es/19777>
- Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. Estados Unidos: John Wiley and Sons, Inc.
- Gómez-Azpeitia, L. G., Bojórquez-Morales, G., Ruiz, R. P., Marincic, I., González, E., y Tejada, A. (2014). Extreme adaptation to extreme environments in hot dry, hot sub-humid and hot humid climates in Mexico. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 8(8) (serial núm. 81), agosto, pp. 929-942. Estados Unidos: David Publishing Company.
- Gunawardena, K. R., Wells, M. J., y Kershaw, T. (2017). Utilizing green and blue space to mitigate urban heat island intensity. *Science of the Total Environment*, núm. 584-585, pp. 1040-1055. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.158>.
- Hamstead, Z. A., y Sauer, J. (2021). Mapping Vulnerability to Weather Extremes: Heat and Flood Assessment Approaches. En: Z. A. Hamstead, D. M. Iwaniec, T. McPearson, M. Berbés-Blásquez, E. M. Cook y T. A. Muñoz-Erickson (eds.), *Resilient Urban Futures* (pp. 47-66). Estados Unidos: The Urban Book Series/Springer Cham. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-63131-4_4.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (1991). Datos básicos de la geografía de México. Recuperado de: [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825221218/702825221218_2.pdf#f\[20,{%22name%22:%22Fit%22}\]](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825221218/702825221218_2.pdf#f[20,{%22name%22:%22Fit%22}])
- Lazzani, M., Marpu, P. R., y Ghedira, H. (2013). Temperature-land cover interactions: The inversion of urban heat island phenomenon in desert city areas. *Remote Sensing Environment*, núm. 130, pp. 136-152. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.11.007>.
- López, F. M., Navarro, L. A., Díaz, R. E., y Navarro-Estupiñán, J. (2021). Vegetation cover and urban heat islands / oases distribution Hermosillo city, Sonora. *Frontera Norte*, 33(6). doi: <https://doi.org/10.33679/rfn.viii.2088>.
- Louafi-Bellara, S., y Abdou, S. (2016). Vegetation effects on urban street microclimate and thermal comfort during overheated period under hot and dry climatic conditions. *Journal of New Technology and Materials (JNTM)*, 06(02): 87-94.
- Lucero Velasco, H. M. (Coord.) (2002). *Mexicali 100 años. Arquitectura y urbanismo en el desierto del Colorado*. México: Grupo Patria Cultural.
- Marincic, I., y Ochoa, J. M. (2021). Urban microclimatic conditions in arid climates. En: M. Palme, y A. Salvati (eds.), *Urban Microclimate modelling for Comfort and Energy Studies* (pp. 163-181). Suiza: Springer Nature. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-65421-4_8.
- Mercado, L., y Marincic, I. (2021). Análisis comparativo de superficies de pavimentos sobre los efectos de la isla de calor urbana en Hermosillo, Sonora. En: M. G. Alpuche (coord.), *Estudios sobre habitabilidad y bienestar en la ciudad* (pp. 158-189). México: Universidad de Sonora. doi: [10.29410/QTP.21.10](https://doi.org/10.29410/QTP.21.10).
- Middel, A., Häbb, K., Brazel, A. J., Martind, C. A., y Guhathakurtae, S. (2014). Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. *Landscape and Urban Planning*, núm. 122, pp. 16-28. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.004>.
- Mohammed, A., Khan, A., y Santamouris, M. (2021). On the mitigation potential and climatic impact of modified urban albedo on a subtropical desert city. *Building and Environment*, núm. 206, pp. 108-276. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108276>.
- Nassar, A. K., Blackburn, G. A., y Whyatt, J. D. (2017). What controls the magnitude of the daytime heat sink in a desert city? *Applied Geography*, núm. 80, pp. 1-14. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.01.003>.
- Navarro-Estupiñán, J., Robles-Morua, A., Díaz-Caravantes, R., y Vivoni, E. (2020). Heat risk mapping through spatial analysis of remotely-sensed data and socioeconomic vulnerability in Hermosillo, Mexico. *Urban Climate*, núm. 31, pp. 100-576. doi: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100576>.
- Nicol, F., Humphreys, M., y Roaf, S. (2012). *Adaptive thermal comfort: Principles and practice*. Londres: Routledge. doi: <http://doi.org/10.4324/9780203123010>.
- Ochoa, J. M. (2017). La vegetación como elemento de control bioclimático en espacios exteriores. En: Elías, P., y Fuentes, V. (Eds), *Estudios de ar-*

- arquitectura bioclimática, vol. XIII. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Oke, T. R. (1982). The Energetic basis of the Urban Heat Island. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, núm. 108, pp. 1-23.
- . (2002). *Boundary layer climates*. Reino Unido: Routledge.
- O'Malley, C., Piroozfarb, P. A. E., Farr, E. P. R., y Gates, J. (2014). An investigation into minimizing urban heat island (UHI) effects: A UK perspective. *Energy Procedia*, núm. 62, pp. 72-80. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.368>.
- Önder, S., y Akay A. (2014). The Roles of Plants on Mitigating the Urban Heat Islands' Negative Effects. *International Journal of Agriculture and Economic Development*, 2(2): 18-32.
- Ouali, K., El Harrouni, K., y Abidi, M. (2017). Review of the urban heat island phenomenon analysis as an adaptation to climate change in Maghreb cities. *Civil Engineering and Urban Planning: An International Journal (CIVEJ)*, 4(3/4): 1-12. doi: <https://doi.org/10.5121/civej.2017.4401>.
- Padilla Galicia, S. (2019). Agenda hacia la ciudad sustentable. En: Padilla Galicia, S., y Fuentes Freixenet, V. (Comps.), *Hábitat Sustentable III*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Salas, M. G., y Herrera, L. C. (2017). La vegetación como sistema de control para las islas de calor urbano en Ciudad Juárez, Chihuahua. *Revista Hábitat Sustentable*, 7(1): 14-23. doi: <https://doi.org/10.22320/o7190700.2017.07.01.02>.
- Sedaghat, A., y Sharif, M. (2022). Mitigation of the impacts of heat islands on energy consumption in buildings: A case study of the city of Tehran, Iran. *Sustainable Cities and Society*, núm. 76, pp. 103-435. pp. 1-15. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103435>.
- Shalaby A. S. (2011). Urban Heat Island and Cities Design: A Conceptual Framework of Mitigation Tools in Hot-arid Regions. *Journal of Urban Research (JUR)*, núm. 8, pp. 42-63. doi: [10.21608/JUR.2011.94276](https://doi.org/10.21608/JUR.2011.94276).
- Soudou, S., Shahmohamadi, P., Vollack, K., Cubasch, U., y Che-Ani, A. I. (2014). Mitigating the Urban Heat Island Effect in Megacity Tehran. *Advances in Meteorology*, 2014(ID 547974), p. 19. Hindawi Publishing Corporation. doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/547974>.
- U. S. Environmental Protection Agency. (2012). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*. Urban Heat Island Basics. Recuperado de: <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>
- Venhari, A. A., Tenpiek, M., y Taleghani, M. (2019). The role of sky view factors and urban street greenery in human thermal comfort and heat stress in a desert climate. *Journal of Arid Environments*, núm. 166, pp. 68-76. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.04.009>.
- Zou, Z, Yan, C., Yu, L., Jiang, X., Ding, J., Qin, L., Wang, B., y Qiu, G. (2021). Impacts of land use/land cover types on interactions between urban heat island effects and heat waves. *Building and Environment*, núm. 204, pp. 108-138. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108138>.