



La isla de calor en la Ciudad de México: Un análisis decadal (1950-2010)

The Heat Island in Mexico City: A Decadal Analysis (1950-2010)

Gabriel Alexis Araiza-Olivares¹

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México

Resumen

Este trabajo analizó el comportamiento mostrado por la isla de calor en la Ciudad de México durante el periodo comprendido de 1950 a 2010. Se trabajó con datos climatológicos de temperatura media por década; la selección de las estaciones consideró el periodo de funcionamiento y datos disponibles. Se estudió la tendencia de la temperatura media de tres estaciones que cumplieron con características específicas; encontrarse dentro del área urbana desde el inicio de operación; haber sido absorbida por la mancha urbana en algún punto de su periodo de funcionamiento; encontrarse en un área rural. Se constató el incremento de la temperatura al interior del área urbana a través del periodo tiempo en contraste con la zona periurbana que se mantuvo relativamente estable, así mismo, las isoterms mostraron un comportamiento de constante expansión conforme la mancha urbana aumentó en superficie.

Palabras claves: Isla de calor, urbanización, expansión urbana, crecimiento de la población.

Abstract

This work analyzed the behavior shown by the heat island in Mexico City from 1950 to 2010. We worked with climatological data of average temperature per decade; the selection of the stations considered the period of operation and available data. The average temperature trend of three stations that met specific characteristics was studied. These characteristics were: being within the urban area from the start of the operation, having been absorbed by the urban area at some point in its period of operation, being in a rural area. The increase in temperature inside the urban area was verified over the period in contrast to the periurban area, which remained relatively stable; likewise, the isotherms showed a behavior of constant expansion as the urban area surface increased.

Keywords: heat island, urbanization, urban sprawl, population growth

1 Maestro en geografía, UNAM. Posgrado en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México. Correo: g_araiza@ciencias.unam.mx  <https://orcid.org/0000-0003-2132-1949>

Introducción

Uno de los problemas que las grandes ciudades afrontan es la *isla de calor*, la cual está asociada a la expansión propia de las áreas urbanas de tal forma que este fenómeno se define como la diferencia de temperatura entre el área urbana y su periferia, derivada del cambio de uso de suelo (Villanueva *et al.*, 2013).

Por su parte, Fuentes (2015) refiere que la isla de calor es la representación gráfica de la distribución espacial de la temperatura en la ciudad y sus alrededores mediante mapas de isotermas, donde está dispuesta de forma concéntrica y marca la presencia de una isla térmica por efecto urbana a escala microclimática.

Giannaros, Melas, Daglis & Keramitsoglou (2014) señalan que la isla de calor es una de las formas más prominentes de modificación local del clima, así mismo, la expansión urbana da como resultado el cambio en la cobertura del suelo. De este modo, con la expansión de las zonas urbanas sobre zonas naturales debido a la construcción de carreteras, edificios y demás infraestructura necesaria para dar cabida a la población, se sustituyen la vegetación y las superficies originales, lo cual influye significativamente en el clima, por lo que muchos climatólogos consideran que las ciudades poseen climas locales únicos.

Martínez-Martínez (2014) y Jain y Sarkar (2017) coinciden en los factores que originan el fenómeno de isla de calor urbana:

1. Mayor almacenamiento de calor latente durante el día debido a las propiedades físicas de los materiales de construcción de las ciudades. Estos materiales aumentan de temperatura de forma progresiva y, durante las noches, estos se enfrían más lentamente que el suelo de zonas rurales, desnudos o con vegetación.
2. La producción de calor derivada de las actividades humanas como el transporte, calefacción, alumbrado, etc.
3. Disminución de la humedad ambiental. La sustitución de la cobertura natural por cubiertas de materiales impermeables favorece la rápida escorrentía del agua de lluvia, lo que impide su absorción y almacenamiento en el suelo.

4. Menor pérdida de calor sensible debido a la disminución de la velocidad del viento por el rozamiento de los flujos aéreos con las estructuras de la ciudad, de modo que actúan como barreras.
5. Incremento de la absorción de la radiación solar debido a la morfología de las ciudades y bajo nivel de albedo.
6. Reducción del factor de la visión del cielo, incidiendo sobre la pérdida de calor durante la noche por irradiación debido a la geometría de calles y edificios.
7. La contaminación atmosférica actúa como barrera ante la radiación de onda larga que es emitida desde el suelo hacia el cielo y parte de esa radiación es absorbida por las partículas en suspensión y la reemite hacia el suelo, con lo que se impide la dispersión eficaz del calor. Esta contaminación se origina principalmente por los motores de combustión de los automóviles, las actividades industriales, entre otros.

Según Oke (1987, 1997) en Akbari *et al.* (2011), la temperatura media del aire de una ciudad de más de un millón de personas puede ser de 1 a 3°C mayor que la de los alrededores e incluso en noches con viento en calma esta diferencia podría ser de hasta 12°C.

La isla de calor puede derivar en consecuencias directas en detrimento de la salud de la población tales como quemaduras de piel, calambres, agotamiento, insolación y golpe de calor; la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de Estados Unidos (FEMA) sugiere que los residentes de áreas urbanas tienen mayor riesgo de padecer los efectos adversos de ondas de calor prolongadas que aquellas que viven en ambientes rurales; así, la población más vulnerable la constituyen los ancianos, los niños, los enfermos crónicos y las personas con obesidad (Córdova, 2011).

Así mismo, la isla de calor puede incrementar los niveles de contaminación del aire, debido al fenómeno conocido como estancamiento, esto debido a que las partículas contaminantes quedan atrapadas en las capas de aire cercanas al suelo y, en conjunto con la radiación solar, favorecen el incremento de los niveles de ozono, ello puede traer consigo el incremento de afecciones respiratorias tales como el asma, reacciones alérgicas y otras morbilidades, así mismo, el riesgo de hospitalización e incluso muerte se incrementa debido a la exposición a altas temperaturas (Climate Central, 2021).

La población urbana en México ha experimentado un crecimiento significativo especialmente desde mediados del siglo XX. Anzaldo y Barrón (2009) han identificado tres etapas en el proceso de urbanización: 1) Urbanización lenta y predominancia rural (1900-1940); 2) Urbanización acelerada y preeminente (1940-1980); 3) Urbanización moderada y diversificación (1980-2005) (en [CONAPO, 2018](#)).

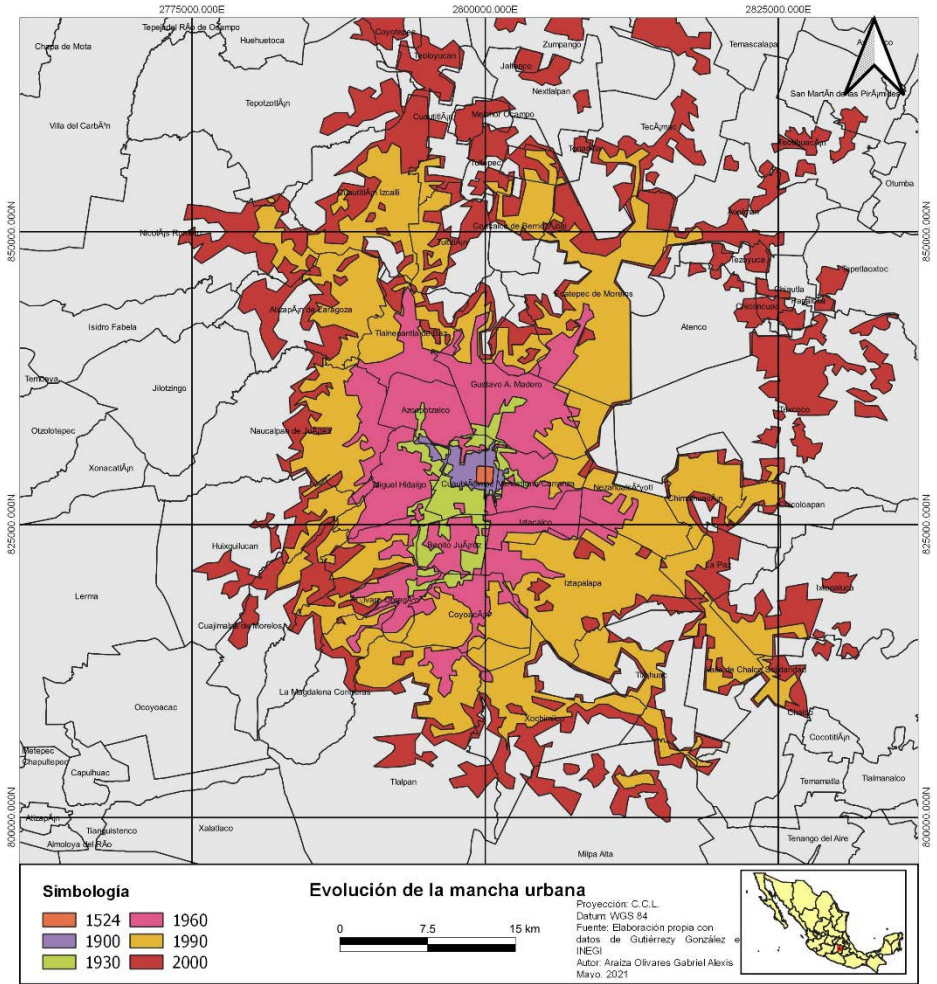
Para [Gutiérrez, González & Zamorano \(2005\)](#) hay distintos factores explicativos respecto al crecimiento acelerado demográfico-urbano, especialmente en la Ciudad de México: 1) un alto índice de natalidad con fuerte descenso en la tasa de mortalidad; 2) un constante flujo de inmigrantes desde todas los estados del país; 3) la condición de capital del país y alta concentración de servicios e infraestructura; 4) la centralización político-administrativa, económica, cultural, educativa y financiera; 5) la región tiene un alto desarrollo industrial, el más importante del país; 6) ser la región más y mejor comunicada por su localización en el centro del país; 7) ser la economía de escala más grande e importante del país.

La Ciudad de México ha seguido un patrón de crecimiento expansivo y de baja densidad. Ello representa un consumo del suelo ineficiente con lo cual se crea una red urbana discontinua y de alta fragmentación ([ONU-Habitat, 2018](#)).

La superficie de la Ciudad de México para el año 1524 se estima en 1.9 km²; para inicios del S. XX ocupaba 16.9 km². Entre 1930 y hasta 1960 la ciudad multiplicó por seis el tamaño de su superficie, al pasar de 66.8 km² y para 1990 esa cifra se triplicó para alcanzar 1160 km², para el año 2000, 1675 km², 44.3 % en solo una década, finalmente para el año 2017 se estima que abarca 2352 km² con poco más de 21.2 millones de habitantes ([Gutiérrez & González, 2010](#); [ONU-Habitat, 2018](#)) (Figura 1).

En contraste, existen datos divergentes respecto a la superficie de áreas verdes urbanas per cápita, por un lado, [SEDEMA \(2017\)](#) estimó el dato en 7.54 m²/habitante; por su parte, [PAOT \(2018\)](#) proporcionó la cifra de 14.41 m²/habitante; en tanto que la Organización Mundial de la Salud recomienda, como mínimo, un umbral de 9 m²/habitante ([ONU-Habitat, 2015](#) en [Gómez & Velázquez, 2018](#)).

Figura 1. Crecimiento de la mancha urbana de la Ciudad de México, 1524-2000



Fuente: Elaboración propia con datos de [Gutiérrez y González \(2010\)](#).

Jáuregui-Ostos (1975) delimitó la Ciudad de México en cinco zonas climáticas:

- 1) Zona Centro. Presenta los niveles de contaminación atmosférica más altos, producto de los automotores y de la alta densidad de edificaciones, lo que dificulta la circulación del viento; así mismo, la oscilación

térmica suele ser pequeña debido a la presencia de la isla de calor, por lo que ya no se presentan heladas recurrentes en conjunto con la presencia de partículas en el aire, que atenúan la temperatura máxima.

- 2) Zona Perimetral de Transición. Son condiciones similares a las de la Zona Centro, sin embargo, estas se observan con menor intensidad, debido a la menor densidad de edificaciones y el menor impacto de la isla de calor.
- 3) Zona Oriente. Corresponde a la superficie lacustre del antiguo Lago de Texcoco. Se presenta una alta densidad de población, aunque en muchos casos con servicios básicos deficientes; la ventilación es considerable, lo que da lugar a tolvaneras durante la parte seca del año, el clima suele ser árido, la cantidad de lluvia baja y la oscilación térmica relativamente alta. La presencia de heladas tiene cierta frecuencia y se presentan niveles de radiación solar alta.
- 4) Zona Sur. Tiene una densidad de construcciones menor, con zonas verdes amplias, la calidad de aire suele ser mejor que en el resto de la ciudad, la presencia de amplios bosques favorece un clima más húmedo, en tanto que la oscilación térmica es amplia.
- 5) Zona Poniente. En su sector norte es relativamente plano, distinguido por ser una zona de alta concentración industrial; en contraste, la Zona Sur posee una orografía accidentada, se ve afectada por la contaminación proveniente de la Zona Norte, por lo que la calidad de aire se ve afectada, hay amplia presencia de bosques y presencia importante de lluvias, lo que propicia un ambiente húmedo.

De este modo, el presente trabajo se propone analizar la dinámica que ha presentado la isla de calor urbana en la Ciudad de México en el periodo comprendido entre 1950 y 2010 por década a través de los datos recogidos in situ por las estaciones de la red del Servicio Meteorológico Nacional.

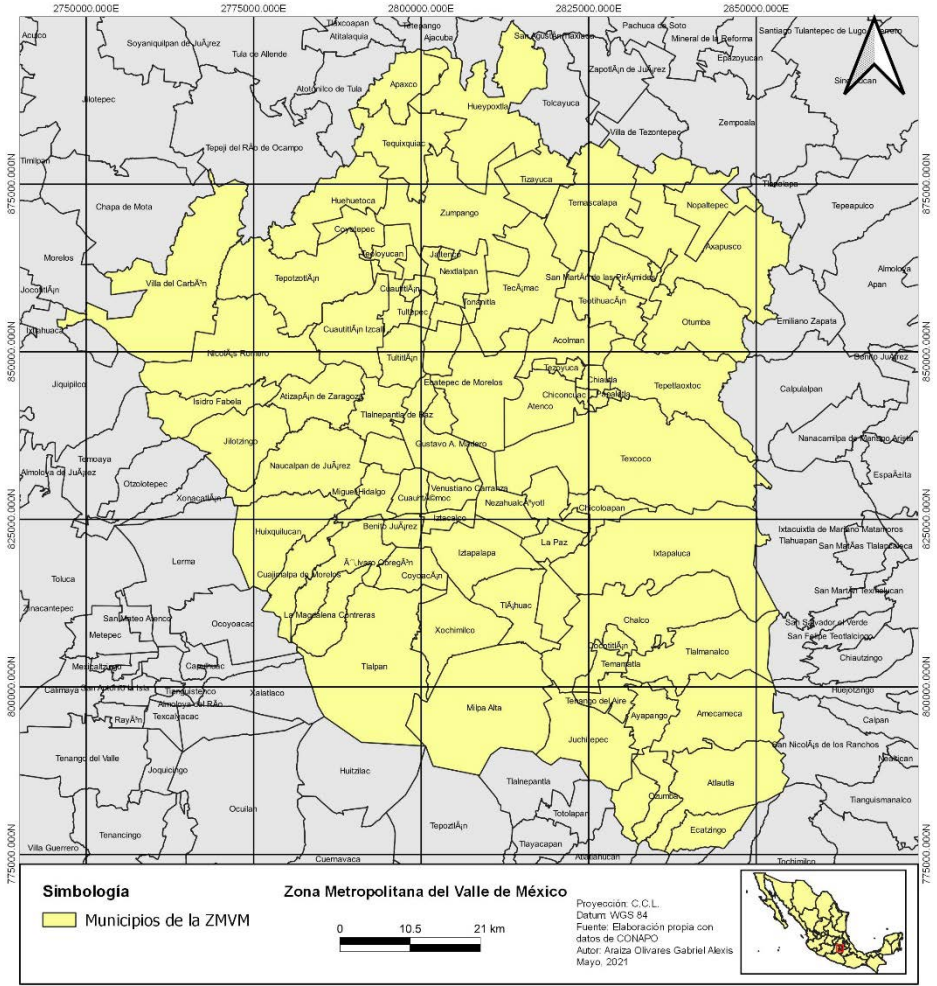
Metodología

Área de estudio

La delimitación del área de estudio quedó marcada por los municipios que conforman la Zona Metropolitana del Valle de México que se compone por tres entidades federativas: Ciudad de México, Estado de México e Hidalgo, dentro de las cuales se circunscribe la mancha urbana.

Las alcaldías y municipios que conforman la Zona Metropolitana de la Ciudad de México suman un total de 76, de los cuales 16 alcaldías corresponden a la Ciudad de México, 69 municipios del Estado de México y uno más del Estado de Hidalgo (CONAPO, 2015) (Figura 2).

Figura 2. Delimitación de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México



Fuente: CONAPO (2015).

Selección de estaciones

Las estaciones climatológicas forman parte de la red instalada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y cuyos datos se concentran en la base de datos CLICOM (CLImate COMputing project) (CISESE, 2021).

Para la selección de estaciones, se establecieron criterios que debían cumplir para ser contempladas: 1) Localización. Ubicarse en alguna de las 16 alcaldías de la Ciudad de México o en alguno de los 59 municipios del Estado de México y uno del estado de Hidalgo que conforman el Área Metropolitana de la Ciudad de México; 2) Periodo de funcionamiento. Poseer al menos 20 años de datos en el periodo 1951-2010; 3) 90% de disponibilidad de datos de temperatura media; 4) Homogeneidad de los datos. Se aplicó la Prueba de Recorrido por Rachas de Sved-Eisenhart bajo el criterio de Doorembos, la cual mide la calidad de los datos en relación con la media y el número de rachas de las observaciones realizadas (Cruz, Reyes & Bello, 2012) (Tabla 1).

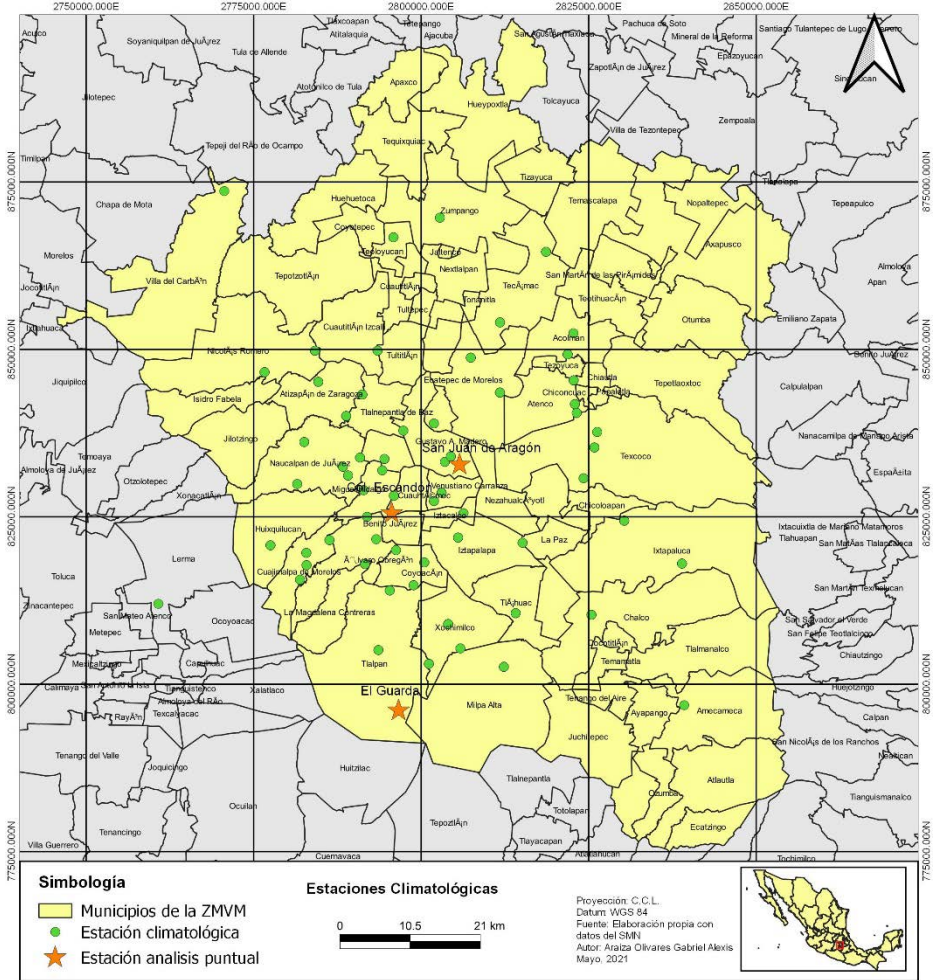
Tabla 1. Prueba de Homogeneidad bajo el criterio de Doorembos

No. de observaciones	Intervalo de rachas
12	5-8
14	5-10
16	6-11
18	7-12
20	8-13
22	9-14
24	9-16
26	10-17
28	11-18
30	12-19
32	13-20
34	14-21
36	15-22
38	16-23
40	16-25
50	22-30
60	26-36
70	31-41
80	35-47
90	40-52
100	45-57

Fuente: (Cruz *et al.*, 2012).

En total 62 estaciones climatológicas cumplieron con los criterios para considerarse en el trabajo, de las cuales: 31 estaciones se ubican dentro del perímetro de la Ciudad de México, 31 en los municipios conurbados del Estado de México y ninguna en el estado de Hidalgo. Cabe mencionar que la cantidad de estaciones no fue constante para cada década estudiada (Figura 3).

Figura 3. Estaciones climatológicas utilizadas



Fuente: Elaboración propia con datos del CLICOM.

Las tres estaciones trabajadas en el análisis puntual se seleccionaron con base en su ubicación en el contexto histórico-urbanístico en el que localizan, esto es: a) Periodo de funcionamiento. Se eligieron las estaciones con mayor tiempo de funcionamiento; b) Ubicarse durante todo el tiempo de funcionamiento circunscripta a la mancha urbana; c) Ubicarse en algún momento de su funcionamiento en la periferia de la mancha urbana, pero haber sido absorbida por la misma; d) Ubicarse fuera de la mancha urbana durante todo el periodo de funcionamiento.

Las estaciones seleccionadas fueron:

- 1) Colonia Escandón: 19°24'05" N, 99°10'38" W; 2245 msnm. (Urbana)
- 2) San Juan de Aragón: 19°27'55" N, 99°04'45"; 2240 msnm. (Periférica a urbana)
- 3) El Guarda: 19°08'04" N, 99°10'23" W; 2290 msnm. (No urbana)

Procesamiento de datos

Los datos de temperatura media mensual de cada estación climatológica se promediaron para obtener la temperatura media anual, y de estos, a su vez, se obtuvo la medida media y se presentaron por década; 1951-1960, 15 estaciones; 1961-1970, 50 estaciones; 1971-1980, 57 estaciones; 1981-1990, 57 estaciones; 1991-2000, 33 estaciones; 2001-2010, 34 estaciones.

Los promedios de temperatura media anual de las tres estaciones seleccionadas se graficaron y compararon a fin de determinar si existe una tendencia en la marcha de la temperatura a través del tiempo, contrastando con el crecimiento de la mancha urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

El modelado espacial de las isotermas se realizó con el método determinístico de interpolación Spline de tensión. Childs (2004) y Goovaets (1997) en [Chirinos y Mallqui \(2016\)](#) refieren que métodos determinísticos hacen los cálculos para cada celda únicamente con las propiedades físicas de las muestras de elevación.

Spline estima los valores mediante una función matemática que minimiza la curvatura de la superficie, el resultado es una superficie suave que pasa exactamente por los puntos de entrada ([Cao, Hu & Yu, 2009](#)). Este interpolador es recomendado para el tratamiento de datos derivados de la temperatura ([Chirinos & Mallqui, 2016](#); [Li & Heap, 2008](#) en [Chirinos & Mallqui, 2016](#) ; [Childs, 2004](#) en [Chirinos & Mallqui, 2016](#)).

Mitas y Mitasova (1988) definen el Spline de tensión a través de la ecuación:

$$R(r) = -\frac{1}{2\pi\varphi^2} \left[\ln\left(\frac{r\varphi}{2}\right) + C_E + K_0(r\varphi) \right]$$

Donde:

K_0 = Función de Bessel modificada.

C_E = Constante de Euler equivalente a 0.577215...

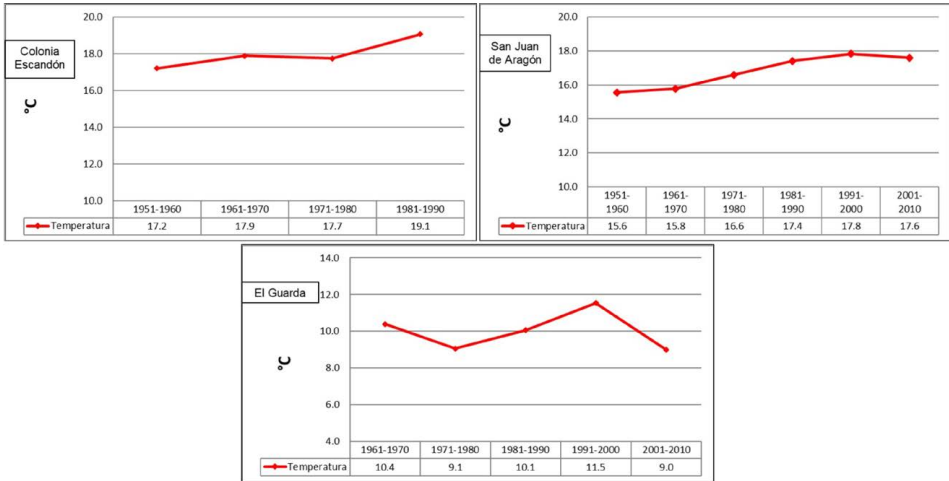
φ = Peso del término de tensión.

R = Distancia entre punto y muestra.

Resultados

El análisis puntual para las tres estaciones climatológicas seleccionadas reveló la influencia del ambiente urbano sobre la temperatura media local por década (Figura 4).

Figura 4. Marcha de la temperatura media por década de las estaciones estudiadas puntualmente



Fuente: Elaboración propia.

La estación Colonia Escandón, cuya ubicación desde su entrada en operación ha sido dentro del entorno urbano, fue instalada en 1951 y operó hasta 1990, durante este periodo se observó una clara tendencia de incremento en la temperatura.

La primera década de mediciones (1951-1960), la temperatura media era 17.2°C, en tanto que en la siguiente, de 1961 a 1970, hubo una variación de +0.8°C, para quedar en 17.8°; en contraste, 1971-1980 registró un ligero descenso de -0.1°C, es decir, 17.7°C; para la última década, se observó un incremento significativo de 1.3°C con respecto al periodo precedente, para situarse en 19.0°C. El resultado final es una diferencia de +1.8°C entre 1951-1960 y 1981-1990.

La estación San Juan de Aragón entró en operación en 1953 y se reporta como operativa en la actualidad. Originalmente el área donde se ubica correspondía a la periferia de la mancha urbana; no obstante, con el crecimiento de la ciudad fue completamente absorbida por la mancha urbana a lo largo de la década de los años 60.

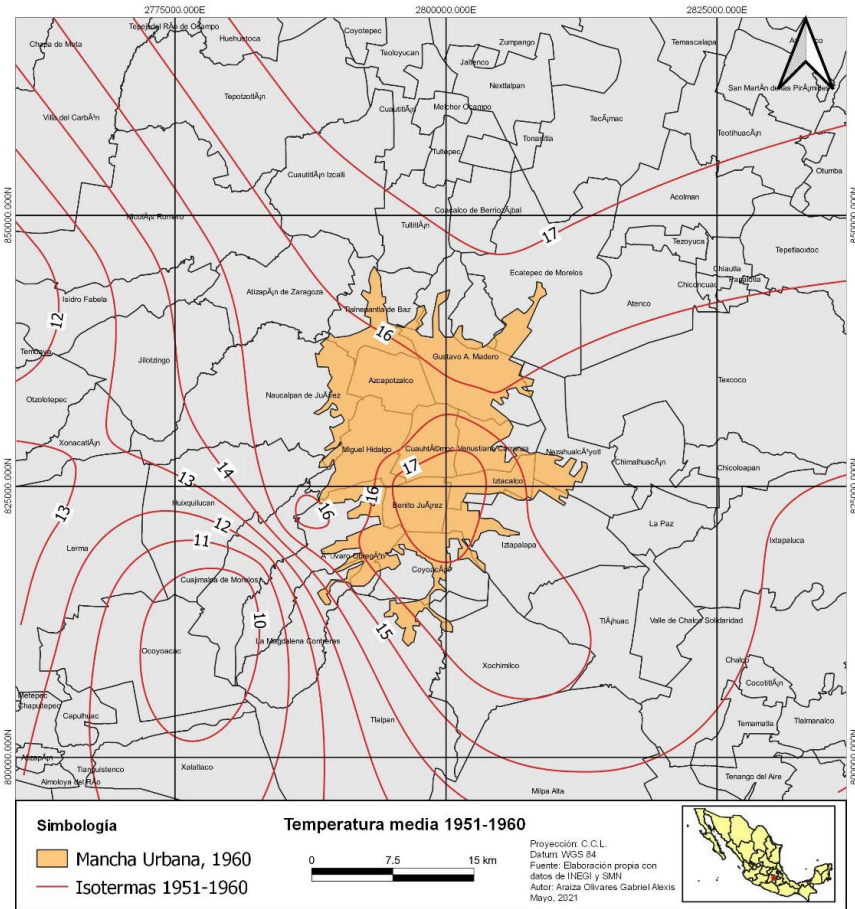
Esto se reflejó en la aceleración del calentamiento local, ya que en la década inicial (1951-1960) la temperatura media fue de 15.6°C y la de la siguiente década (1961-1970) de 15.8, es decir, +0.2°C. Sin embargo, en el periodo de 1971-1980 la temperatura fue de 16.6°C, lo que significa una variación de +0.8°C. Para la siguiente década se observó un incremento similar de 0.8°C para alcanzar 17.4°C entre 1981 y 1990; en las dos décadas subsecuentes el ritmo se moderó para aumentar 0.4°C entre 1991 y 2000, e incluso en 2001-2010 se observó un ligero descenso de 0.2°C. Esto significa que entre el inicio del periodo de estudio y el final de este la variación fue de +2.0°C.

La tercera estación estudiada fue El Guarda, cuyo inicio de operación fue en 1961 y se mantiene hasta la actualidad. Su ubicación original hasta la fecha es en un contexto predominantemente rural. A diferencia de las estaciones urbanas, llama la atención la presencia de contrastes significativos interdecadales en la temperatura media.

El punto inicial en la década 1961-1970 registró 10.4°C, sin embargo, en la de 1971-1980 la variación fue de -1.3°C, para ubicarse en 9.1°C; para 1981-1990 la temperatura media alcanzó 10.1°C, +1.0°C con respecto al periodo anterior; en la siguiente década, 1991-2000, se observa un nuevo aumento de 1.4°C para llegar a 11.5°C, en tanto que, en el último periodo del análisis, 2001-2010, la temperatura media registró una fuerte variación de -2.5°C para quedar en 9°C.

En la década 1951-1960 se observa que la zona con la isoterma que corresponde a los 17°C, la temperatura media anual más alta, se localizó en el centro de la ciudad, en las alcaldías de Cuauhtémoc, Venustiano Carranza y parte de Benito Juárez, Iztacalco y Coyoacán, con una superficie aproximada de 66.2 km². La temperatura disminuye progresivamente, es notoria la influencia que tiene el relieve en ella, la isoterma con el valor más bajo se ubica al surponiente con 10°C, en tanto que al oriente se aprecia una temperatura mayor, en la planicie del Lago de Texcoco, entre 15 y 16°C. Estas áreas se mantuvieron fuera del área urbana a lo largo de esta década (Figura 5).

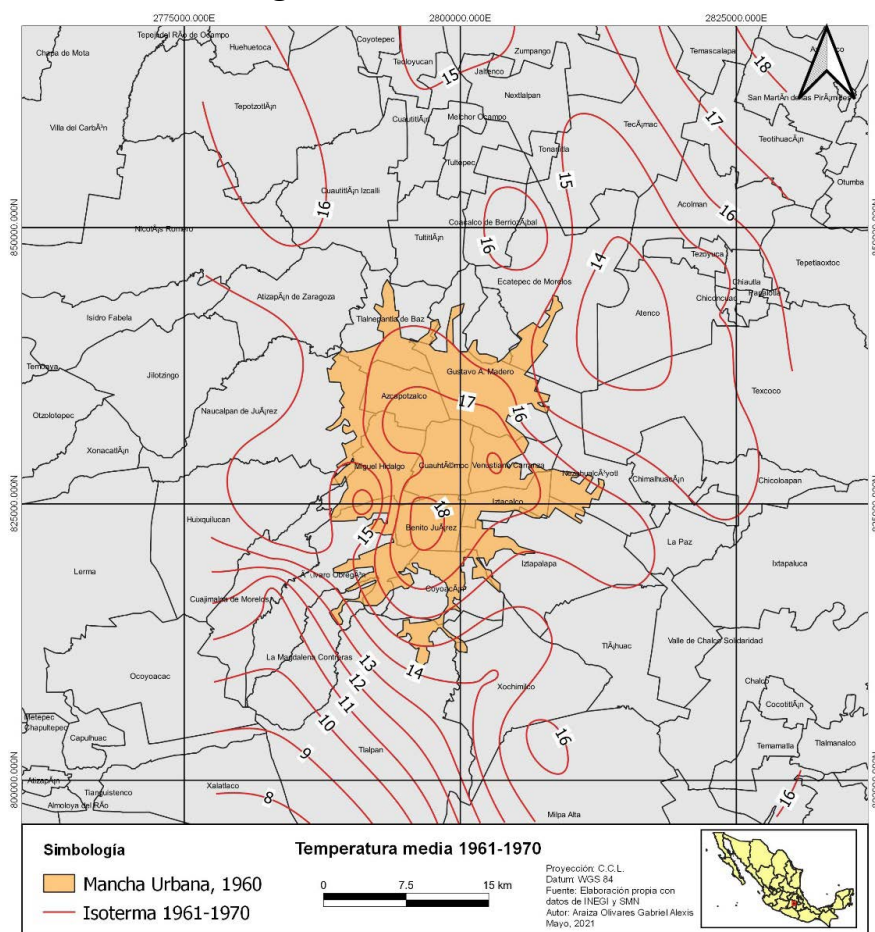
Figura 5. Isotermas 1951-1960



Fuente: Elaboración propia con datos del CICESE (2021).

En el periodo 1961-1970 se observa la expansión de la isoterma de 17°C, abarcó los territorios de las alcaldías Azcapotzalco, Gustavo A. Madero, Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Benito Juárez, Iztacalco y Coyoacán, la cual cubre una superficie estimada de 163.9 km². Además, se presenta una nueva isoterma con valor de 18°C en las demarcaciones de Benito Juárez y Venustiano Carranza con 13.6 km². Las áreas fuera de la ciudad permanecieron con temperaturas relativamente estables durante esta década (Figura 6).

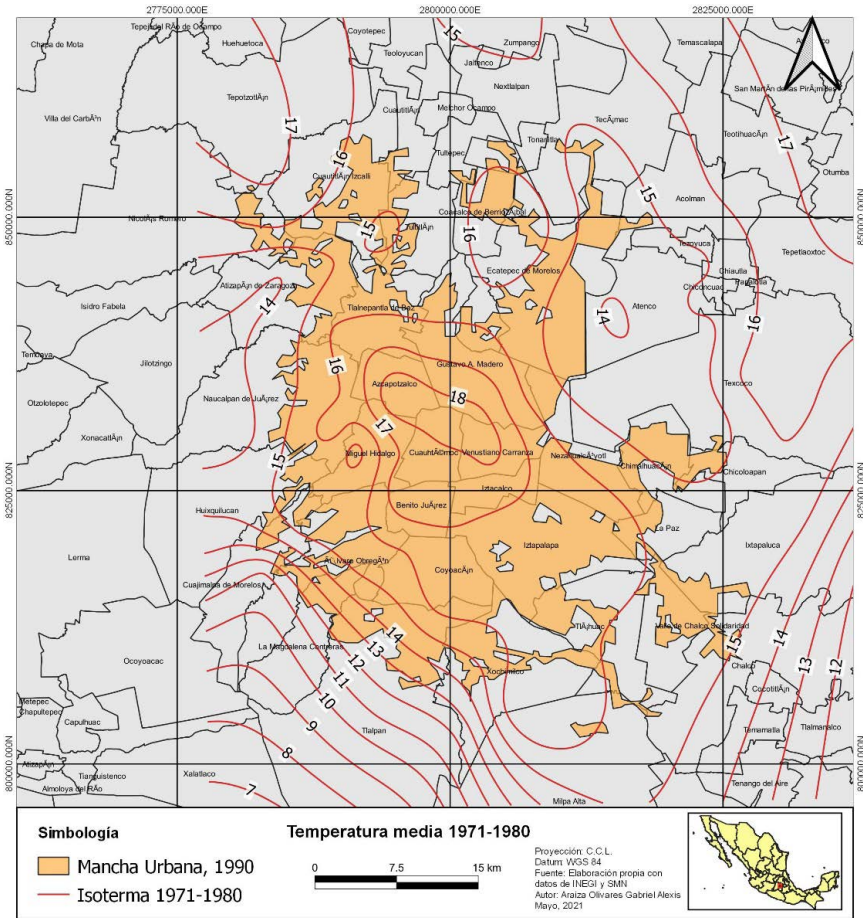
Figura 6. Isotermas 1961-1970



Fuente: Elaboración propia con datos del CICESE (2021).

En la siguiente década (1971-1980) la isoterma de 18°C muestra una expansión y se emplazó en la zona central de la mancha urbana, abarcó parte de las alcaldías de Miguel Hidalgo, Azcapotzalco, Cuauhtémoc y Venustiano Carranza con 46.5 km². En cuanto a la isoterma de 17°C, nuevamente presentó un incremento en su cobertura total, aunque disminuyó el ritmo de crecimiento al alcanzar 176.6 km², se observan municipios con este valor como Tepetzotlán, San Martín de las Pirámides, Otumba y Tepetlaoxtoc, en la periferia de la ciudad. Las isotermas mínimas se mantuvieron relativamente estables en la zona sur y sur-poniente de la ciudad (Figura 7).

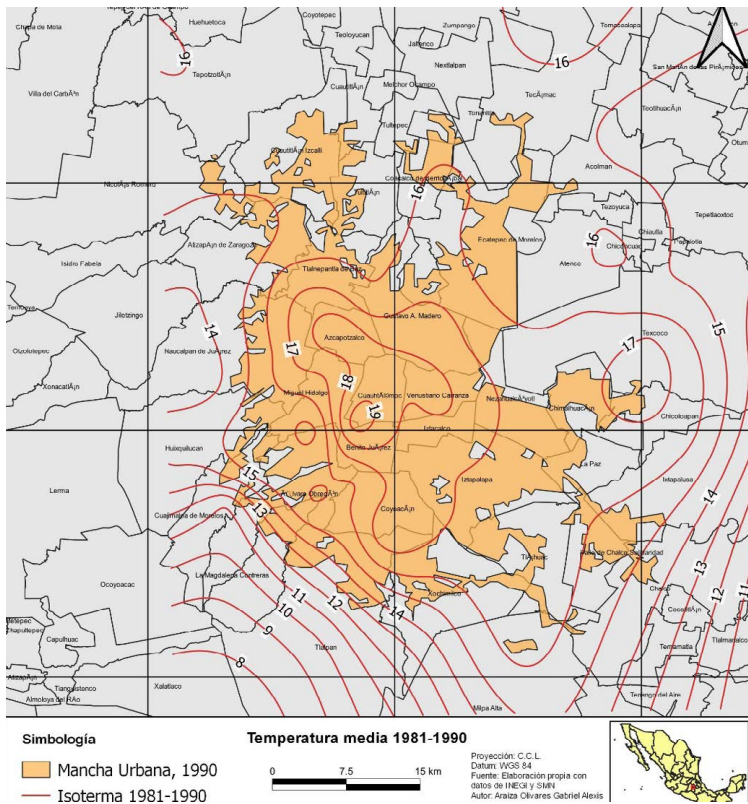
Figura 7. Isotermas 1971-1980



Fuente: Elaboración propia con datos del CICESE (2021).

Durante la década 1981-1990 la mancha urbana continuó con su expansión en todas direcciones, aunque de forma más acentuada al oriente y sur-oriente; se observa una nueva isoterma con valor de 19°C cuya superficie aproximada es de 5.7 km² y abarca partes de las alcaldías Cuauhtémoc, Benito Juárez y Miguel Hidalgo, es decir, el casco de la zona urbana. La isoterma de 18°C abarcó las alcaldías Miguel Hidalgo, Azcapotzalco, Cuauhtémoc y Venustiano Carranza con una extensión de 96.7 km². La de 17°C se expande con dirección al sur y alcanzó parte de la alcaldía Tlalpan, Xochimilco y Coyoacán, así mismo, se aprecia la aparición de una pequeña isla de calor al oriente, en la convergencia entre los municipios de Chicoloapan, Chimalhuacán y Texcoco con 337.4 km². La zona sur y sur-poniente mantuvieron valores similares a los de décadas precedentes (Figura 8).

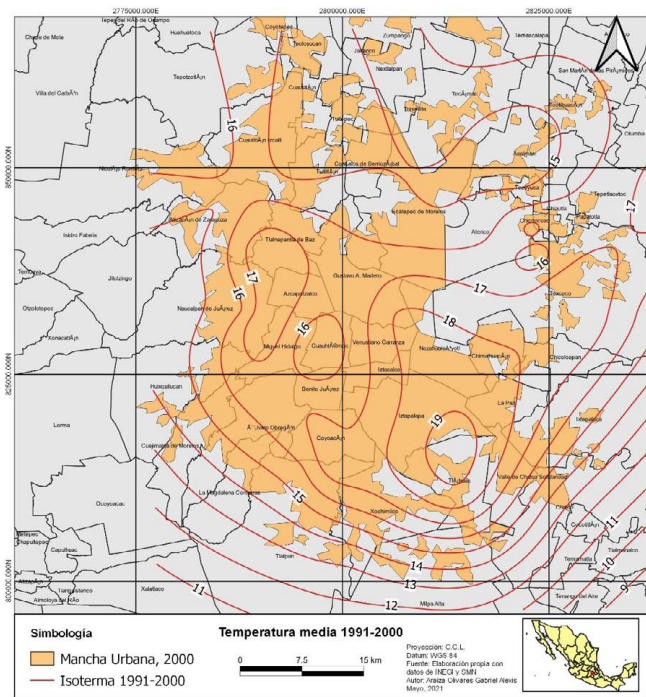
Figura 8. Isotermas 1981-1990



Fuente: Elaboración propia con datos del [CICESE \(2021\)](#).

Para 1991-2000, la mancha urbana aceleró su expansión hacia el noro-riente, aunque mantuvo su crecimiento en prácticamente todas las direcciones. La isla de calor con isoterma máxima de 19° C mostró un desplazamiento y expansión a la zona oriente, en las alcaldías de Tláhuac e Iztapalapa, y abarcó 41.2 km². La isoterma de 18°C experimentó una ampliación significativa sobre la alcaldía Tláhuac, hasta Gustavo A. Madero, en la Ciudad de México y Valle de Chalco, La Paz, Nezahualcóyotl y Chimalhuacán con un aproximado de 288.5 km². En tanto que la de 17°C cubre una superficie de 787.9 km², durante esta década la isoterma se fragmentó, por una parte, al lado norponiente, sobre los municipios de Tlalnepantla y Naucalpan, así como a las alcaldías de Azcapotzalco y Miguel Hidalgo, por otra parte, al suoriente y oriente en las alcaldías de Coyoacán, Iztapalapa, Iztacalco, Venustiano Carranza, Gustavo A. Madero y los municipios de Texcoco, Nezahualcóyotl, Chicoloapan, La Paz y Valle de Chalco. La zona sur presentó un incremento de 1°C hasta 3°C, con la isoterma de 11°C como la mínima (Figura 9).

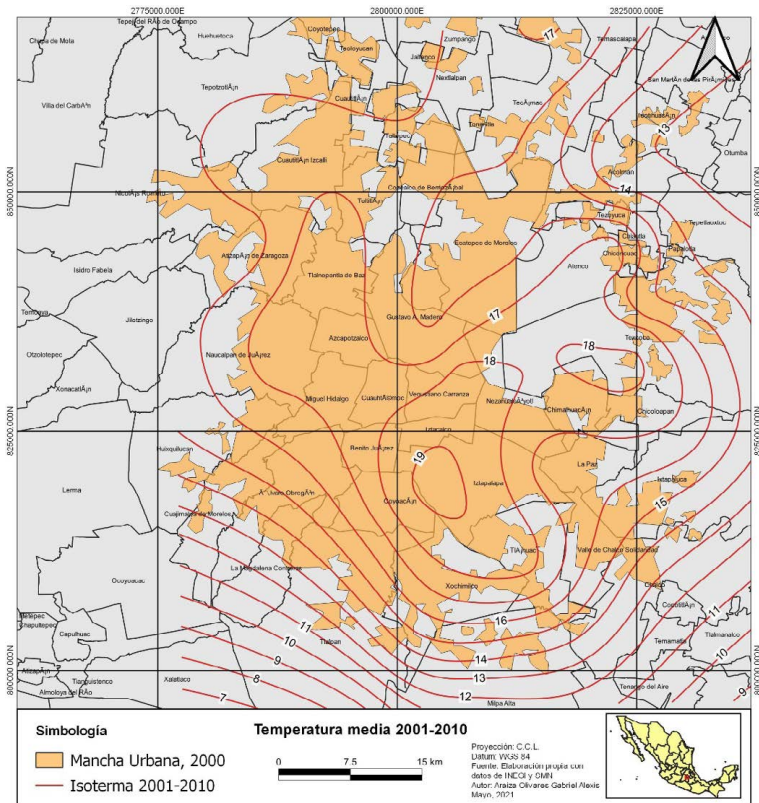
Figura 9. Isotermas 1991-2000



Fuente: Elaboración propia con datos del CICESE (2021).

En la última década del estudio (2001-2010) la isla de calor se consolidó en la zona oriente de la mancha urbana. Aunque en términos generales se contuvo su expansión, la isoterma de 19°C se localizó sobre la alcaldía Iztapalapa con 30.9 km², en tanto, la de 18°C abarca la mayor parte del oriente y parte del centro de la ciudad con 288.8 km² de extensión. Destaca que al poniente se registró un incremento de la temperatura entre 1 y 2°C en las alcaldías Álvaro Obregón y Cuajimalpa y el municipio de Huixquilucan. La isoterma de 17°C mostró un ritmo menor de expansión y alcanzó 929.5 km². En las afueras de la mancha urbana al sur se observó un ligero descenso en la temperatura, en cambio, en la periferia hubo un ligero incremento. Por otro lado, en el suroriente de la ciudad la situación se mantuvo relativamente estable (Figura 10).

Figura 10. Isotermas 2001-2010



Fuente: Elaboración propia con datos del CICESE (2021).

Conclusiones

Este trabajo converge con los estudios realizados en distintas ciudades alrededor del mundo sobre los efectos que tiene la urbanización en el clima local, especialmente sobre la temperatura. En todos los casos se ha observado una clara tendencia al calentamiento del ambiente urbano por diversos factores tales como las propiedades físicas de los materiales de edificios, casas y calles, las actividades humanas, el cambio en la cobertura natural del suelo y la consecuente pérdida de humedad, así como el propio diseño urbano.

A partir de la década de 1950 comenzó un gran crecimiento poblacional en la Ciudad de México, esto debido a diversos factores como la centralización político-administrativa, el alto desarrollo económico y la importancia inherente de ser la capital del país.

No obstante que el avance de la urbanización se ha moderado a partir de las décadas de 1980 y 1990, el uso y aprovechamiento ineficiente del suelo ha provocado que el crecimiento espacial del área urbana sea mayor con respecto al de la población, lo cual ha derivado en una mancha urbana discontinua, fragmentada y de grandes dimensiones.

El estudio del clima urbano es especialmente importante en una ciudad de la magnitud de la Ciudad de México debido a que es la mayor concentración de población del país y una de las mayores urbes del mundo. Ello significa que está expuesta al deterioro de las condiciones de confort, y más aún, a los efectos negativos que el incremento de la temperatura tiene sobre la salud humana.

Se observó un claro vínculo entre el aumento de la superficie de la mancha urbana y el incremento de la temperatura. En el periodo de estudio, la isoterma máxima en la década de 1951-1960 fue de 17°C y para 2001-2010 fue de 19°C. En el transcurso de 60 años la temperatura media se incrementó 2°C, es decir, 0.3° C por década en promedio.

La isla de calor a mediados del s. XX se ubicó en el área correspondiente al centro de la ciudad, no obstante, con el paso de los años se ha incrementado constantemente en superficie, así mismo, se advierte el desplazamiento de esta hacia el oriente de la mancha urbana, lo que sugiere que se ha visto favorecida por la rápida urbanización.

El análisis de las tendencias mostradas por estaciones seleccionadas corrobora el calentamiento del medio urbano. Las estaciones urbanas

mostraron un incremento constante en la temperatura media anual a lo largo de su periodo de funcionamiento; San Juan de Aragón tuvo un rápido aumento de la temperatura media a partir de la década de los 60, en concordancia con la urbanización del área; la estación Escandón, al no contar con datos para las últimas dos décadas, impide conocer más a fondo la evolución del fenómeno, aunque la tendencia sugiere que la temperatura ha seguido incrementándose; en el caso de la estación El Guarda, ubicada en un ambiente rural, la marcha de irregular de la temperatura sugiere que la variabilidad de esta se vincula más a factores naturales de los ciclos atmosféricos.

El inconsistente funcionamiento de las estaciones climatológicas y sus respectivos datos recopilados, así como la limitada cobertura, afectaron negativamente el desarrollo de los modelados de isotermas. Ejemplo de ello se observa entre 1971 y 1990, pues se tuvo un máximo de disponibilidad de datos debido a la operación de 57 estaciones, número que se redujo progresivamente hasta únicamente 34 estaciones.

Cabe resaltar que cualquier método de interpolación depende de la cantidad, calidad y cobertura de los datos, por lo que entre mayor sea la cantidad de los datos y mejor sea la distribución de las estaciones climatológicas, mejor será la representación que se logre obtener.

Por ello resulta imperativo mantener y robustecer la red de estaciones climatológicas a fin de contar con herramientas que ayuden a la caracterización de fenómenos climatológicos locales a los que la población se encuentra expuesta, con el objetivo de evaluar los posibles impactos negativos que pueda tener y mermar el confort y la salud humana, así como para diseñar mecanismos de respuesta y mitigación ante tales fenómenos.

Referencias

- Akbari, H., Bell, R., Brazel, T., Cole, D., Estes, M., Heisler, G., Hitchcock, D., Johnson, B., Lewis, M., McPherson, G., Oke, T., Parker, D., Perrin, A., Ronsenthal, J., Sailor, D., Samenow, J., Taha, H., Voogt, J., Winner, D., Wolf, K. & Zalph, B. (2011). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Urban Heat Island Basics*. Environmental Protection Agency.
- Cao, W., Hu, J. X. & Yu, X. (2009). A study on temperature interpolation methods based on GIS. *2009 17th International Conference on Geoinformatics, Geoinformatics 2009*, (4), 1-5. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/GEOINFORMATICS.2009.5293422>

- CICESE. (2021). Datos Climáticos del CLICOM del SMN. Recuperado de: <http://clicom-mex.cicese.mx/>
- Chirinos, L. R. & Mallqui, C.G. (2016). Comparación entre interpoladores espaciales en el estudio de distribución de partículas sedimentables insolubles en la Cuenca Atmosférica de Lima y Callao. *Información Tecnológica*, 27(4), 111-120. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000400012>
- Climate Central. (2021). Hot Zones: Urban Heat Island.
- Consejo Nacional de Población. (CONAPO, 2015). *Delimitación de Zonas Metropolitanas 20015*. México.
- Consejo Nacional de Población. (CONAPO, 2018). *Sistema Urbano Nacional 2018*. México.
- Córdova, K. (2011). Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana. Análisis estacional comparativo: Caracas, octubre – 2009, marzo – 2010. *Terra*, 27(42), 95-122. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72121706005>
- Cruz, D., Reyes, M. & Bello, L. (2012). Control de calidad de datos. En L. Gómez & M. Medina (Comp.), *Guía de Métodos Estadísticos en Climatología* (20-24). México: Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- Fuentes, C. (2015). Climatología urbana por modificación antropogénica. Alteración del balance de energía natural. *Contexto. Revista de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León*, 9(11), 73-91. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353642518006>
- Giannaros, T. M., Melas, D., Daglis, I. A. & Keramitsoglou, I. (2014). Development of an operational modeling system for urban heat islands: An application to Athens, Greece. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(2), 347-358. doi: <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-14-347-2014>
- Gómez, N. & Velázquez, G. (2018) Asociación de los espacios verdes públicos y la calidad de vida en el municipio de Santa Fe, Argentina. *Cuadernos de Geografía*, 27(1), 164-179.
- Gutiérrez, M. & González, J. (2010). Evolución del crecimiento espacial de la Ciudad de México en relación con las regiones geomorfológicas de la Cuenca de México. En R. Aguirre Gómez (Coord.), *Geografía para el Siglo XXI* (15-39). México, Instituto de Geografía, UNAM.

- Gutiérrez, M., González, J. & Zamorano, J. (2005). *La Cuenca de México y sus cambios demográficos-espaciales*. Temas selectos de geografía de México. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- Jain, G. & Sarkar, S. (2017). Urban Heat Island: Causes, Effects & Mitigating Strategies. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 3(2), 67-73. doi: <http://dx.doi.org/10.11648/j.ijema.20150302.15>
- Jáuregui-Ostos, E. (1975). Las zonas climáticas de la ciudad de México. *Investigaciones Geográficas*, 1(6), 47-58. <http://dx.doi.org/10.14350/rig.58890>
- Martínez-Martínez, J. (2014). Estudio de la isla de calor de la ciudad de Alicante. *Investigaciones Geográficas*, (62), 88-99. doi: <http://dx.doi.org/10.14198/INGEO2014.62.06>
- Mitáš, L. & Mitášová, H. (1988). General variational approach to the interpolation problem. *Computers & Mathematics with Applications*, 16(12), 983-992. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0898-1221\(88\)90255-6](http://dx.doi.org/10.1016/0898-1221(88)90255-6)
- ONU-Habitat. (2018). Superficie de CDMX crece a ritmo tres veces superior al de su población. Recuperado de: <https://onuhabitat.org.mx/index.php/superficie-de-cdmx-crece-a-ritmo-tres-veces-superior-al-de-su-poblacion>
- PAOT. (2018). *Las Áreas Verdes en la Ciudad de México. Una visión integral*. México: Autor.
- SEDEMA. (2017). *Inventario de Áreas Verdes*. Recuperado de: <https://sede-ma.cdmx.gob.mx/programas/programa/inventario-de-areas-verdes>
- Villanueva, J., Ranfla, A., Quintanilla, A. (2013). Isla de Calor Urbana: Modelación Dinámica y Evaluación de medidas de Mitigación en Ciudades de Clima árido Extremo. *Información Tecnológica*, 24(1), 15-24. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000100003>