

La importancia de la isla de calor urbano como un indicador más a tomar en cuenta en los procesos de planeación urbana en las ciudades de México.

The importance of the urban heat island as another indicator to be taken into account in urban planning processes in Mexico cities.

Ruth María Grajeda-Rosado Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería.

lgrajeda@uv.mx; ORC ID: 0000-0001-9961-3541

Alejandro Levet-Nofrietta. Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería.

alevet@uv.mx; ORC ID: 0000-0001-7398-5507

Max Mondragon-Olan. Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería.

mamondragon@uv.mx; ORC ID: 0000-0001-8046-3889

Carlos Velázquez- Sanabia. Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería.

csanabia@uv.mx

Fecha de recepción: 18/05/2022

Fecha de aceptación: 07/06/2022

DOI: <https://doi.org/10.25009/e-rua.v15i03.192>

Resumen

Con la advertencia del Cambio Climático (CC) y las alteraciones que ha ocasionado en el medio ambiente, se realizan grandes esfuerzos para contrarrestarlo o al menos ralentizarlo; una de las consecuencias indirectas del CC es la Isla de Calor Urbana (ICU), que alude al aumento de la temperatura en las zonas urbanas en relación con las rurales o suburbanas circundantes (Santamouris, et al., 2011), la cual afecta a millones de personas. El objetivo de este artículo es responder a la reflexión sobre ¿Cuánta ponderación tiene la ICU sobre la toma de decisiones en las políticas de planificación urbana de las ciudades en México?, para responder esto, se utiliza una metodología de revisión documental, que incluye el estado del arte de la morfología propia del fenómeno, enumeración de las investigaciones realizadas dentro del territorio mexicano que buscan medir las isotermas de la ICU, una revisión histórica de la introducción de la ICU como indicador de sustentabilidad y resiliencia, y por último, revisión del impacto de las investigación sobre las políticas que se aplican al área urbanística. Podemos concluir, que este estudio es un parteaguas de las

futuras investigaciones, pues, aunque la academia ha realizado diferentes estudios en casi todos los estados de la república mexicana abarcando gran variedad de climas, llegan a ser pocas las ciudades analizadas, y dentro de estos parámetros, los resultados se vuelven meramente informativos, careciendo de una vinculación y aplicación metodológica que permita traspasar a la práctica. Lo que nos hace necesario el conocimiento de los efectos de la isla de calor en las ciudades para con ello hacer políticas públicas que entiendan las problemáticas generadas y logren ser parte de los procesos urbanos de las ciudades.

Abstrac

With the warning of Climate Change (CC) and the alterations that it has caused in the environment, great efforts are made to counteract it or at least slow it down; One of the indirect consequences of CC is the Urban Heat Island (ICU), which alludes to the increase in temperature in urban areas in relation to the surrounding rural or suburban areas (Santamouris, et al., 2011), which affects millions of people. The objective of this article is to respond to the reflection on: How much weight does the ICU have on decision-

making in urban planning policies of cities in Mexico? To answer this, a documentary review methodology is used, which includes the state of the art of the morphology of the phenomenon, enumeration of the investigations carried out within the Mexican territory that seek to measure the isotherms of the ICU, a historical review of the introduction of the ICU as an indicator of sustainability and resilience, and finally, review of the impact of research on policies applied to the urban area. We can conclude that this study is a watershed for future research, because, although the academy has carried out different studies in almost all the states of the Mexican Republic covering a wide variety of climates, few cities have been analysed and, within these parameters, the results become merely informative, lacking a link and methodological application that allows transferring to practice. What makes it necessary for us to know the effects of the heat island in the cities to make public policies that understand the problems generated and manage to be part of the urban processes of the cities.

Palabras clave

Isla de calor urbana, sustentabilidad, normativa

Keywords

Urban heat island, sustainability, regulations

Introducción

A casi un siglo de las primeras investigaciones oficiales sobre climatología urbana obtenidas por Luke Howard en 1802 en la ciudad de Londres, se logró observar un aumento en la temperatura entre la zona urbana y la zona rural, dicho fenómeno fue atribuido al intenso consumo de combustible en aquella época. Podemos con ello reflexionar sobre cómo los procesos antropogénicos van modificando el ambiente natural.

Siendo la ciudad el elemento fundamental para el desarrollo cultural de la humanidad (Moreno, 2001), sería lógico pensar que los usuarios de los diferentes espacios que la conforman monitoreen sus condiciones ambientales, climáticas, sociales, culturales y económicas, con el rigor metodológico de ciencias como: la climatología urbana, la arquitectura y el urbanismo. Para poder obtener datos asertivos a las necesidades actuales. Ante el arribo de las advertencias sobre el cambio climático, por el alarmante informe de las Naciones Unidas con relación al comportamiento demográfico en las ciudades, donde “el 56 por ciento de la población mundial actual reside en áreas urbanas y se prevé que para 2050 llegará al 68 por ciento...” (ONU, 2021), nos permite tener una idea clara del crecimiento exponencial durante las próximas tres décadas.

El trabajo intelectual en áreas técnicas como: la climatología, la arquitectura y el urbanismo desde una conciencia ecológica, nos ayudan a predecir y solventar los problemas que ocasionan los procesos antropogénicos en las ciudades, para poder resolver el entorno

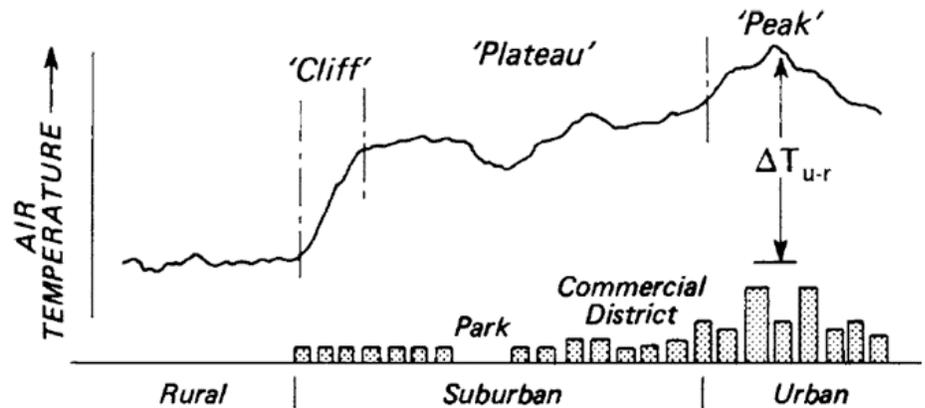


Figura 1. Sección típica de la Isla de Calo resultado de la urbanización. Fuente: (Oke, 1987).

urbano, que actualmente consume el 75% de los recursos energéticos del planeta originando el mayor porcentaje del deterioro ambiental, en forma de contaminación y gases inductores del cambio climático (Yeang, 2001).

Estado del arte de la ICU Morfología de la ICU

En palabras del Lansberg (1981) “la manifestación climática más evidente de la urbanización es la tendencia a elevar las temperaturas del aire”. Al incrementar la temperatura, el confort térmico de la población disminuye; conllevando a implicaciones de salud tales como: enfermedades respiratorias y cardíacas.

Los progresos de estas investigaciones en el campo quedan demostrados, así como, su importancia ante la cantidad de investigaciones de los especialistas. Iniciando con Albert Krazter, monje Benedicto de Alemania, en 1937; en donde su tesis doctoral, indica la revisión de 225 publicaciones; 44 años después Helmut Erich Landsberg, climatólogo alemán, utilizó tres mil títulos (Landsberg, 1981); 9 años después la climatóloga española María del Carmen Moreno mencionó una revisión de 5,000 títulos (Moreno, 1990).

Hoy en día, al insertar en Google academic las key words “Urban Heat

Island” el buscador nos muestra 1,150 mil resultados; mostrando la relevancia del tema.

Entrando en el tema, sabemos que el fenómeno ICU, se explica por las leyes de la termodinámica; su diagnóstico basado en cómo interactúan los fenómenos de: conducción, convección y radiación, propios del balance de energía, entre los aspectos climatológicos de la región, la morfología de la ciudad (altura y rugosidad), los materiales de construcción, usos de suelo, la superficie de vegetación de la ciudad y las actividades.

Esta teoría aceptada indica que todo inicia con la radiación solar que incide en las superficies artificiales de las ciudades, de la cual se resta la radiación reflejada y emitida por las mismas, quedando entonces la radiación neta (Q^*) (Oke, 1987).

Escala de la ICU

Las mediciones de la ICU y el modelado se dividen en:

- Tres escalas horizontales, la regional de 10^4 a 10^5 m (considera toda la ciudad y sus alrededores), la local (10^2 a 10^4 m, representa la capa de rugosidad y los usos de suelo dentro de una urbe) y la microescala (10^2 a 10^1 m, representa las características de los elementos individuales como edificios, cañones o

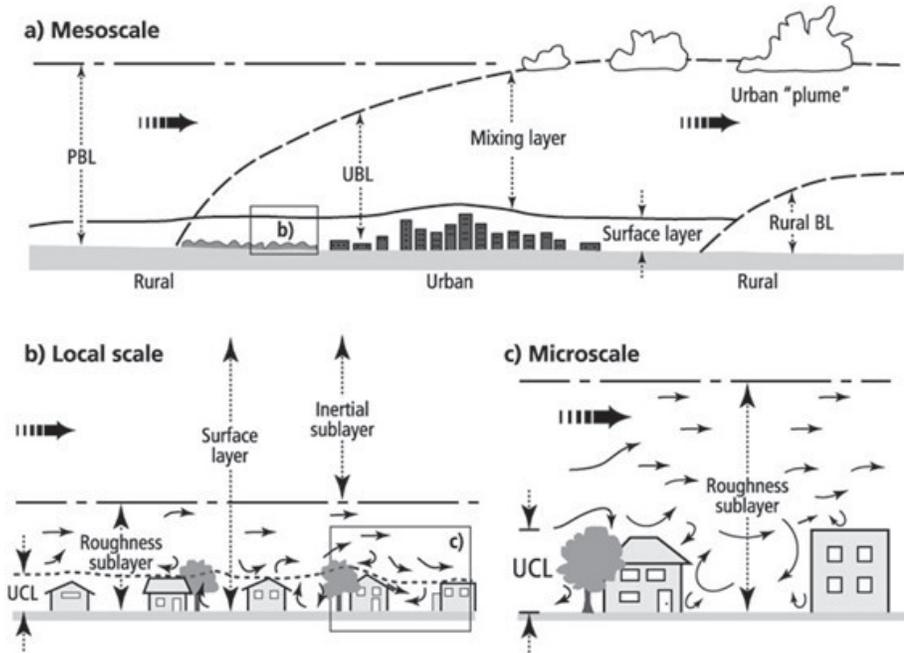


Figura 2. Escalas (horizontes) y capas (verticales) atmosféricas en el clima urbano. Fuente: (Srivani, 2013) modificado de (Oke, 1987)..

árboles).

- La escala vertical de la ICU está comprendida entre los rangos de 10^4 a 10^1 m, que corresponden a entornos urbanos, como son edificios, corredores o cañones urbanos, bloques de áreas urbanas o modelos regionales (Arnfield, 2003). Estos rangos de valores en la estratificación vertical o capas que definen la ICU, son la capa límite urbana, capa límite rural, capa superficial, capa de rugosidad, capa de dosel (Moreno, 2010).

Ante estas, podemos observar la interacción con los diferentes estratos o capas que determinan los diferentes perfiles térmicos, y como cada uno afecta de manera diferente a los usuarios (Figura 2).

Metodología de medición de la ICU

Las mediciones de la ICU pueden ser a través de:

- Estaciones meteorológicas fijas.

En estos centros meteorológicos las variables disponibles que se podían observar en un principio eran: la temperatura, la dirección y velocidad del viento, la visibilidad

del cielo, la humedad y precipitación. Posteriormente, se incluyeron: la radiación solar y el porcentaje en horas de exposición solar. Esta técnica de medición se utiliza en todas las escalas, aquellas que competen los edificios, cañones y zonas urbanas. Dentro de las especificaciones, para la correcta obtención de datos es vital la colocación de los equipos, de preferencia y de ser posible, a la misma altitud y la medición en la capa de dosel.

- Desplazamientos móviles con equipo térmico

Esta técnica, generalmente es usada cuando se cuenta con pocos equipos meteorológicos y es tal vez la forma más económica que existe. Consiste en trazar un recorrido preliminar, dependiendo de la morfología y características de la ciudad, y transitarlo preferente de noche, cuando la ICU es más intensa y el tráfico es menor, permitiendo un modelado en cañones y zonas urbanas. Una de las problemáticas es el hecho de no poder tomar datos simultáneos y el termómetro puede ser influenciado por el calor del motor o el viento del tráfico.

- Detección remota

Con el adelanto tecnológico, los científicos empiezan a utilizar equipamientos e instrumentos más sofisticados permitiendo observar por toda la superficie terrestre cómo se comportan las islas de calor con respecto a puntos geográficos específicos. Ahí es donde entra la detección por aviones y satélites por medio de fotografías térmicas, de las emisiones de onda de radiación electromagnética. En este punto los modelados son en zonas urbanas y regionales.

Esta metodología sirve para categorizar el uso del suelo de la ciudad; estimar las áreas de máximo potencial para superficies reflectantes y forestación urbana. (Gorsevski, et al., 1998). El detalle con la modelación es el esfuerzo por diferenciar mejor los sistemas urbanos y los no urbanos. Los estudios que exploran la capacidad de una alta resolución de infrarrojos térmicos de datos en forma remota identifican puntos altos de temperatura, creando imágenes térmicas urbanas; con los supuestos de que los patrones en la temperatura de la superficie terrestre coinciden con los patrones de la temperatura del aire (Coutts, et al., 2016).

Modelos de predicción de la ICU

- Modelación de edificios (Micro-escala)

Uno de los precursores fue el programa DOE, desarrollado en 1996 por el Departamento de Energía de los EEUU, actualmente, los programas tienen diferentes herramientas y estiman diferentes aspectos de los edificios, introduciendo valores de variables internas y externas, con características generales del modelado, ubicación geográfica, datos climáticos, la envolvente (materiales y geometría), iluminación natural y artificial, flujos de aire y ventilación, sistemas y equipos



eléctricos, sistemas y equipos de aire acondicionado y patrones de operación, es decir, actividades de los usuarios (Crawley, et al., 2008).

- Modelos de cañones urbanos (Local-escala)

El modelado incluye los valores de las superficies artificiales y las superficies naturales que son: capacidad térmica, albedo o reflectancia, emisividad térmica, humedad, la orientación el cañón y la radiación de la zona de estudio. Estos simuladores son llamados Modelos de desarrollo de Microclimas (MCM), y utilizan los patrones de fluido basados en ecuaciones de la dinámica de fluidos de Navier y Stokes (Mirzaei, 2015).

- Modelos regionales (Meso-escala)

En inglés, estos modelos son llamados Meso-Scale Models (MM), y su uso determina si las medidas implementadas para mitigar la ICU en escalas horizontales de las ciudades, son efectivas, considerando acciones como la ventilación urbana, la gestión de dispersión de la contaminación y el reverdecimiento del área, en un lugar determinado.

Su técnica es una modelación numérica, la cual incluye ecuaciones de proceso de intercambio de energía dentro de la mecánica de fluidos y de la termodinámica. Son ligados con las estaciones meteorológicas, estaciones móviles y sistemas de teledetección (satélites) para acceder a las variables como la radiación, la cobertura de nubes, entre otros. En su base de datos, se encuentran factores de albedo, emisividad y reflectancia de los tipos de suelo de la ciudad.

El producto final será un modelo de regresión para explicar la temperatura de la superficie terrestres en relación espacio-tiempo (LST, Land Surface

Temperature) asociada con los parámetros de posición geográfica, cobertura de suelo, volumen de los edificios, orientación y liberación de calor antropogénico (Voogt & Oke, 2003).

Un objetivo general en los sistemas de modelado es erradicar la brecha de integración y acoplamiento con las demás escalas (Srivanit, 2013), obteniendo una simulación exacta de la realidad de acuerdo con la interacción de las variables en sus diferentes niveles (Mirzaei, 2015).

Impacto de la ICU

Son cuatro aspectos negativos que la ICU introduce a las ciudades, los cuales son: a) incremento de la demanda eléctrica ocasionado el aumento de las emisiones de gases de tipo invernadero, b) afectaciones en la salud, c) afectaciones en la calidad del aire y d) potencialización del número de olas de calor en climas cálidos (Giordano Vélez, 2021) (Villarreal & Candanedo, 2020).

En cuanto al incremento de la demanda energética, se obtienen datos de la

Tabla 1. Legislación.

Año	Conferencias de Organismo Internacionales y sus aportaciones en el tema de sustentabilidad
1968	Creación del Club de Roma promueve el crecimiento económico estable y sostenible
1972	1er Conferencia "Cumbre de la Tierra" sobre Medio Humano de las Naciones Unidas (Estocolmo).
1980	Informe "Estrategia Mundial para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales "por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
1981	Informe Global 2000 realizado por el Consejo de Calidad Medioambiental de Estados Unidos.
1982	Carta Mundial de la ONU para la Naturaleza Creación del Instituto de Recursos Mundiales (WRI) en USA
1984	Primera reunión de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, creada por la ONU en 1983, para establecer una agenda global para el cambio.
1987	Informe Brundtland Nuestro Futuro Común, elaborado por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo formalizando el concepto de desarrollo sostenible
1988	Conferencia de Toronto Canadá, entre PNUMA y OMM estableciendo el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).
1990	Creación de la agencia Europea del Medio Ambiente
1992	Segunda "Cumbre de la Tierra": Aparece la Agenda 21, se aprueban el Convenio sobre el Cambio Climático
1993	Programa de Acción en Materia de Medio Ambiente de la Unión Europea: Hacia un desarrollo sostenible. Periodo que cubre: 1992-2000
1994	Primera Conferencia de Ciudades Europeas Sostenibles. Aalborg (Dinamarca). Carta de Aalborg'30
1996	Segunda Conferencia de Ciudades Europeas Sostenibles. El Plan de actuación de Lisboa: de la Carta a la acción INDICADORES SOTENIBLES
1997	Aprobación del Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

1998	Environmental Protection Agency (EPA), lanza la Iniciativa de Mitigación de la ICU
2000	Lanzamiento de la Carta de la Tierra. Tercera Conferencia de Ciudades Europeas Sostenibles.
2001	VI Programa de Acción en Materia de Medio Ambiente de la Unión Europea.
2002	Conferencia Mundial sobre Desarrollo Sostenible ("Río+10", Cumbre de Johannesburgo),
2004	La séptima reunión ministerial de la Conferencia sobre la Diversidad Biológica Aprobación de la Agenda 21 que relaciona los principios del desarrollo sostenible + Firma de los Compromisos de Aalborg y para que formen parte de la Campaña Europea de Ciudades y Pueblos Sostenibles
2005	Entrada en vigor del Protocolo de Kioto sobre la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.
2006	Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo sobre una Estrategia temática para el medio ambiente urbano
2007	Cumbre de Bali que busca redefinir el Protocolo de Kioto y adecuarlo a las nuevas necesidades respecto al cambio climático. En esta cumbre se incorpora México
2008	Indicadores de desarrollo sostenible de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. Con su compendio de estrategias para la reducción de la Isla Calor Urbano
2011	Comisión Europea: Eurostat y Acción por el Clima, Unión Europea. Indicadores en acción por el clima y medidas de mitigación de la Isla Calor Urbano (ubicado en salud pública, transportes: tema 6: cambio climático y energía)
2012	COP18 + DOHA: Enmienda de Doha: 2da. Fase del protocolo de Kioto. Refuerzo los compromisos cuantificados de limitación o reducción de las emisiones de los países desarrollados.
2013	COP19 – VARSOVIA. Mecanismo internacional de Varsovia. Para cuantificar las pérdidas y daños asociados al impacto del Cambio Climático
2014	COP20 – LIMA: Contribuciones para un acuerdo global. Temas tratados sobre la producción y aumento del hambre ocasionado por el CC
2015	COP21 – PARIS: Acuerdo de París. Acciones de la CMNUCC para intensificar el combate del cambio climático
2016	COP22 – MARRAKECH. Alianza de Marrakech, entra en vigor el acuerdo París, que potencializa el papel de la sociedad civil en temas de cambio climático.
2017	COP23 – FIYI. Celebrada en Bonn
2018	COP24 – KATOWICE. Katowice Rulebook, reglas del Acuerdo de París. Reglas para referir los reportes sobre el cumplimiento de las medidas de reducción de emisiones
2019	COP25 – CHILE. Celebrada en Madrid. Efecto del CC a la microeconomía de los países.
2021	COP26 – GLASGOW. Adoptado el pacto climático de Glasgow. Firma de 100 países para reducir las emisiones globales de metano un 30% para 2030

Comisión Nacional para el uso eficiente de la energía (CONUEE, 2018), donde se contabilizaron 7 millones de equipos de aire acondicionado para vivienda particulares en México contra 2.6 millones de equipos para calefacción, superando en un 260% la necesidad de enfriamiento en las casas con una utilización que supera en algunos casos, más de 9 horas al día.

Según Córdoba (2011), la ICU ocasiona dentro de la salud, quemaduras en piel, insolación y golpes de calor siendo confirmado por la Agencia Federal de Emergencia de Estados Unidos, donde poblaciones vulnerables como adultos mayores, infantes y enfermos crónicos tienen alta posibilidad de sufrir ondas de calor prolongadas en ciudades.

Estudios de medición de la ICU aplicados en México

Al igual que el resto del mundo, el fenómeno de la ICU inició en México con la observación climática urbana. Fue en 1895, que el climatólogo mexicano Manuel Moreno Anda, del Servicio Meteorológico Nacional, señaló el fenómeno de contrastes térmicos entre el centro de la Ciudad de México y el observatorio de Tacubaya, sitio que entonces tenía un carácter rural. Sin embargo, su informe, aunque fue tomado para iniciar una medición más intensa en la ciudad, todavía no se relacionaba con el efecto de la ICU (Jáuregui, 1992).

En la tabla 2 se muestra los trabajos realizados por instituciones públicas o privada dentro de la república mexicana, los cuales miden o contribuyen directamente en el tema de la ICU. Es importante aclarar que muchas investigaciones resaltan la importancia del tema, especialmente aquellas donde su enfoque es el confort térmico, sin embargo, se desecha documentos que



Tabla 2. Estudios de ICU en México

Referencia	Información y herramienta	Ciudad	Año de estudio	Población	Max. Temperatura (°C)
(Castillas A., 2007)	Información de 5 estaciones	Mexicali, Baja California Cálido, seco	2002-2007	553,046	4.0
(García, et al., 2007)	Imágenes Satelitales NOAA AVHRR y LANDSAT.		Enero, abril, Julio y octubre del 1998	549,873	4.5
(García, et al., 2009)	Base de datos meteorológicos de estaciones		1950-2000 and 2000-2005)	653,046	5.7 (Nivel dosel)
(Castilla, et al., 2014)	4 estaciones con Stella Software		2002 -2005	653,046	5.3
(Contreras, et al., 2015)	5 estaciones y WeatherLink software.	Juárez Chihuahua Árido extremo seco	Enero, febrero y junio a septiembre 2007	1,313,338	
(Díaz Soto & Ruiz Pérez, 2015)	Imágenes satelitales y ArcGis Software		Enero a diciembre 2014	1,391,180	11.0
(Jáuregui, 1992)	Datos de estaciones meteorológicas		1878-1889	8,200,000	2.0
(Jáuregui, 1997)	2 estaciones meteorológicas		Mayo 1994 a abril 1995	8,600,000	9.0 Nocturna 5.0 Estación con lluvia
(Jauregui & Luyando, 1997)	16 estaciones urbanas, suburbanas y rurales		1967 - 1988	8,600,000	9.0
(Correa & García, 2000)	Estaciones meteorológicas y transectos		1986 - 1999	8,600,000	Tendencia de incremento Temp = 0.39
(Jáuregui, 2004)	21 estaciones meteorológicas		1961 - 1985	8,700,000	Incremento año 0.07 Max. T., 0.15 Min T. 0.08 rural
(Ballinas, 2011)	16 estaciones meteorológicas		2009	8,800,000	8.5
(Luyado, 2016)	9 estaciones meteorológicas		2010	8,900,000	9.0
(Molar Orozco, 2015)	Información de termómetro infrarrojo		Saltillo, Coahuila Semihúmedo	Primavera y verano 2013	
(Galindo, 2007)	AVHRR y NOAA imágenes satelitales	Colima, Colima	1997-2006	596,550	6.6
(Jáuregui, 1979)	Transectos	Toluca, Estado de México, Húmedo templado	Febrero 2-3, 1978		5.0 Nivel dosel
(Vidal & Jauregui, 1990)	2 transectos		Febrero 1977 and octubre 1990		8.5
(Morales, et al., 2007)	Estaciones meteorológicas		Julio 15, 2004 and enero 13, 2005	467,712	3.0 Día 1.5 Noche invierno

(Dávila, et al., 2011)	9 estaciones meteorológicas		Julio 29, 2009 and febrero 7, 2010	489,333	5.0 Día 4.0 Noche invierno
(Martínez Arredondo, et al., 2015)	17 estaciones meteorológicas	Guanajuato	1951-2010		5.0 Macroescala
(Galindo, 2007)	AVHRR NOAA e imágenes satelitales	Guadalajara, Jalisco Árido extremo	1997-2006	605,304	13.0
(Martínez, 1999)	Estaciones meteorológicas	Puebla, Puebla Húmedo cálido	Diciembre 1998 a April 1999	1,400,000	5.0
(Colunga, et al., 2015)	Imágenes satelitales	Querétaro, Querétaro Semi árido	1990-2010	804,663	5.0
(Lara Lárraga, 2014)	Transecto	San Luis Potosí, San Luis Potosí semidesértico	1940-2013	722,722	Nivel dosel y microescala
(Mercado & Lovriha, 2017)	3 transectos y 8 estaciones meteorológicas	Hermosillo, Sonora Húmedo seco	Agosto 26, 29, 39; 2015	715,061	4.0
(Cervantes, et al., 2000)	Transectos durante la noche	Villahermosa, Tabasco Húmedo cálido	June, Julio and agosto 1997		1.5
(Cervantes, et al., 2001)	Muestra disposición de isotermas	Villahermosa and Xalapa Húmedo cálido	Xalapa mayo 1998 Villahermosa Julio 1997		3.0
(Evans & De Schiller, 2005)	5 transectos con equipo HOBO	Tamaulipas, Tampico húmedo subtropical	2004 periodo cálido		3.0
(Fuentes Pérez, 2015)	Información climática y transectos		Enero y agosto 2012		4.9
(Fuentes Pérez, 2015)	Comparación histórica de transectos		8 días enero y 8 días agosto 2014		0.40 crecimiento anual y 10.0 crecimiento agosto
(Hernández Romero & Segura López, 2012)	Información de máxima y mínimas temperaturas	Poza Rica, Veracruz Cálido	Septiembre a octubre 2010	185,242	6.0
(Parada Molina, 2013)	5 estaciones meteorológicas		Julio 1 a septiembre 30, 2012	185,242	7.0
(Barradas, 1987)	13 estaciones meteorológicas	Xalapa, Veracruz	Julio 1980		6.0
(Tejeda & Acevedo, 1990)	2 estaciones meteorológicas		August 1988 and May 1989		7.0
(Baca Cruz, 2014)	3 estaciones meteorológicas	Veracruz and Boca del Rio, Veracruz Tropical húmedo	Marzo a septiembre 2011		5.0
(Pérez & López, 2015)	Imagen satelital y transectos	Mérida, Yucatán Tropical húmedo	2010		2.0
(Jauregui, 2005)	14 estaciones meteorológicas	Población >106 Población de 106-104	1950 to 1990		Incremento en 0.57 ciudades grandes 0.37 Medianas 0.07 Global

(López-Espinoza, et al., 2012)	NOAA-AVHRR satélites e información INEGI	México ciudad, Puebla and Tlaxcala	1993-2009		Incremento promedio 1.33 Día máx. 0.12 Día mín.
(Lucero-Álvarez, et al., 2014)	Información nacional de meteorología y radiación solar	20 ciudades en Mexico	1981 - 2000		Valore en ciudades con clima cálido

solo refieren, pero no miden o informan algún valor relevante al tema.

Después de haber realizado un análisis de los 49 trabajos de la tabla 2 el resultado es: 39 (80%) son artículos, mientras que 10 (20%) son tesis e informes. Que de los 31 estados y la Ciudad de México que conforman nuestro país, en 11 (34%) de entidades federativas, el tema no es prioritario en su agenda, estos son Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Durango, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca y Sinaloa, pero también sabemos que por sus características climatológicas presentan altas temperaturas.

La Ciudad de México, es la que presenta estudios desde 1899 y se redactó un 16% (8 documentos), los cuales fueron mediciones y análisis de posibles soluciones. Le sigue Mexicali con 14% (7 investigaciones). En el estado de México, Toluca presenta 8% (4 estudios de ubicación de la ICU) y en el estado de Veracruz se encontraron 10% (4 investigaciones para las ciudades de: Poza Rica, Xalapa, puerto de Veracruz y Boca del río en total).

En la actualidad, datos del Consejo Nacional de Población en 2015, México tiene una ciudad con más de 20 millones de habitantes, doce con población mayor a un millón y el resto (61) con más de cien mil habitantes, dando un total de 74 zonas metropolitanas (CNP, 2015), de la Tabla 2, se obtiene por lo tanto 20 ciudades medidas, las cuales representa el 27% del total de las ciudades en México.

La isla de calor urbana como indicador de la sustentabilidad.

Desde la aceptación de una coexistencia balanceada entre el ser humano y el medio ambiente, a través de las corrientes ecológicas y sustentables, la vida consumista que conocemos deberá modificarse o desaparecer. Los informes ambientales, climáticos y de salud difundidos a través de las conferencias internacionales, dan a conocer los acontecimientos, las acciones y consecuencias originadas por la acción del hombre y su intervención con el medio natural.

De las conferencias (ONU, UNESCO, WMO, EPA), surgieron convenios y propuestas, para ser adoptadas como normas y acuerdos legislativos en contextos internacionales, nacionales y regionales, gracias a la globalización en que vivimos. Grupos civiles y agencias gubernamentales han tomado su papel como órganos reguladores de las medidas, aunque no de manera expedita y legal.

El camino ha sido largo para la inclusión de la ICU en los indicadores de sustentabilidad, como demuestra la siguiente tabla, basada en la mayoría de sus datos cronológicos del libro: ¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable, en el capítulo 2, Historia del concepto de desarrollo sustentable de la Profesora Naima Pierri (Foladori & Pierri, 2005).

No todos, los acuerdos han dado frutos y ciertamente no ha sido un objetivo para seguir en los países, se podría decir

que sólo aquellas ciudades con recursos económicos y tecnológicos han dado sus primeros pasos.

Estados Unidos, da ejemplo mundial de acciones en la mitigación de la ICU, en el verano de 1997, con la Iniciativa UHIMI (por sus siglas en inglés) lanzada por la agencia gubernamental americana, Environmental Protection Agency (EPA), para la prevención de la ICU (Gorsevski, et al., 1998, p. 25), generando con ello la relación que existe entre el CC y la ICU.

De manera global, analizando la tabla, observamos que la gestión ambiental mundial se tardó casi 40 años para abordar el tema de cambio climático de manera intensiva, es a partir del acuerdo COP21, en el año 2015 que se inicia la campaña de reducir el aumento de temperatura global de 2 °C acompañada con los 17 objetivos de desarrollo sostenible. En este caso se entrelazan los objetivos 11: Ciudades y comunidades sostenibles, 13: Acción por el clima y 17: Alianza para lograr los objetivos, sin embargo aunque no se habla específicamente de ICU algunos objetivos se vinculan con ella directamente: (11.3) aumentar la urbanización inclusiva y sostenible, (11.7) proporcionar acceso universal a zonas verdes, (11.b) aumentar el número de ciudades y asentamientos que adopten políticas y planes integradores para promover la mitigación del cambio climático y la adaptación a él, (13.1) fortalecer la resiliencia y adaptación de los riesgos relacionados con el clima y, (17.14) mejorar la coherencia de las políticas para el desarrollo sostenible (ONU, 2022).

Aplicación de la normatividad mexicana

Podemos darnos cuenta al leer este artículo, que la necesidad de transición a ciudades más sostenibles y resilientes es imperativo en la actualidad, siendo conceptos y criterios que deben trabajarse bajo el concepto de gobernanza conjunta, es decir, una cooperación efectiva entre sus diferentes actores: las instancias gubernamentales, asociaciones civiles, organizaciones privadas y la sociedad misma, esto a través de un marco normativo y político que atienda coherentemente la problemática de ICU, que permita tener indicadores como la reducción el consumo de energía, que ayudaría a mejorar las condiciones de confort térmico, mejorar la salud pública de los gobernados, así como la reducción CO₂ y sus efectos.

Son varias las leyes y normas que están dirigidas al desarrollo de las ciudades tomando en cuenta la necesaria adaptación al cambio climático y por ende a la ICU. Entre ellas podemos observar:

La Ley General de Asentamiento Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (LGAHOTDU, 2021), que tiene por objetivo sentar las bases para el ordenamiento del uso del territorio en las ciudades del país, fijando los mecanismos para la participación social y la gestión de los recursos. En ella, los artículos que hablan sobre el CC son el 6, 34, 37 y 101, donde claramente se menciona que los intereses deben estar vinculados con la prevención, mitigación y resiliencia ante los efectos del CC, así como la aplicación de tecnologías que restauren e impulsen la mitigación del CC, reduzcan los costos y mejoren la calidad de la urbanización. La ley General de Cambio Climático (LGCC, 2022), escrita en el 2012, se alinea con el objetivo de mantener el aumento

de la temperatura por debajo de los 2°C. En dicha ley se establece un sistema de alerta temprana para informar a la ciudadanía sobre las olas de calor o temperaturas anormales.

Con relación a esto la capital de México, además se rige por la Ley Ambiental de Protección a la Tierra del Distrito Federal, Ley de Huertos Urbanos y Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal. Para el resto de las ciudades del país, es a partir de la LGAHOTDU Y LGCC que se desarrollan y definen los planes y programas municipales de desarrollo urbano que determinan las acciones específicas para la conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población, de cada municipio o localidad, de acuerdo con el número de población. En ellos se especifican los indicadores que miden los resultados obtenidos.

Otras normas que contribuyen de a la mitigación de la ICU, a una escala micro son las aplicadas a las construcciones como son, la NOM-008-ENER-2001 para las edificaciones no residenciales y NOM-020-ENER-2011 para residenciales, las cuales buscan favorecer el buen desempeño energético en las envolventes de las construcciones para determinar la ganancia o pérdida de calor en favor de los usuarios. La NMX-AA-164-SCFI-2013, de carácter voluntario, fija los requerimientos mínimos para una edificación sustentable, haciendo referencia a la eficiencia de los sistemas hidrosanitarios, energéticos y materiales como aislantes térmicos.

Es significativo mencionar que la Secretaría de Desarrollo Social SEDESOL, publicó un boletín a los municipios, sobre la incorporación de criterios de adaptación al cambio climático en los instrumentos de planeación urbana.

Destacamos el apartado 4.1 de Usos de Suelo, en la elaboración de programas de desarrollo se deberá intercalar

tipologías arquitectónicas que incluyan zonas edificadas con zonas verdes para disminuir la ICU. Particularmente, en su punto 4.7, sugiere (SEDESOL, 2010), cubrir 50% de las vialidades, al menos, con pavimentos cuyo Índice de Reflexión Solar (IRS) sea del 29%.

Así también la Secretaría de Economía, a partir de octubre del 2016, emite la Norma Mexicana NMX-U-125-SCFI-2016, para la industria de la construcción donde define y especifica los métodos de ensayo para los revestimientos de techo con alto índice de reflectancia solar.

Conclusiones

Ante los datos y los hechos actuales no podemos negar la importancia de las mediciones de las ICU, puesto que, desde el punto de vista de la macro escala y sus límites verticales, estos son factores relevantes para la toma de decisiones que tienen que ver directamente en la gestación formal y planeación urbana actual de las ciudades. Es una negligencia no considerar las diferencias térmicas en alza que existen de acuerdo con los usos de suelo que conforman la ciudad, que de manera exponencial han sido ocasionados por los procesos antropogénicos; aumentando la problemática.

Después de haber realizado un análisis de los 49 trabajos de la tabla 2 el resultado es: 39 (80%) son artículos, mientras que 10 (20%) son tesis e informes. Que de los 31 estados y la Ciudad de México que conforman nuestro país, en 11 (34%) de entidades federativas, el tema no es prioritario en su agenda, estos son Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Durango, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca y Sinaloa, pero también sabemos que por sus características climatológicas presentan altas temperaturas.

La Ciudad de México, es la que presenta estudios desde 1899 y se redactó un 16% (8 documentos), los cuales fueron mediciones y análisis de posibles soluciones. Le sigue Mexicali con 14% (7 investigaciones). En el estado de México, Toluca presenta 8% (4 estudios de ubicación de la ICU), y en el estado de Veracruz se encontraron 10% (4 investigaciones para las ciudades de: Poza Rica, Xalapa, puerto de Veracruz y Boca del río en total).

El creciente interés en el tema y unión a los conceptos como resiliencia y cambio climático está generando datos para la comprensión de su modelación en urbes mexicanas, sin embargo, las medidas de mitigación siguen siendo tenues y paliativa para su control, tan necesario en muchas ciudades actualmente.

Es significativo mencionar que la Secretaría de Desarrollo Social SEDESOL, publicó un boletín a los municipios, sobre la incorporación de criterios de adaptación al cambio climático en los instrumentos de planeación urbana.

Destacamos el apartado 4.1 de Usos de Suelo, en la elaboración de programas de desarrollo se deberá intercalar tipologías arquitectónicas que incluyan zonas edificadas con zonas verdes para disminuir la ICU. Particularmente, en su punto 4.7, sugiere (SEDESOL, 2010), cubrir 50% de las vialidades, al menos, con pavimentos cuyo Índice de Reflexión Solar (IRS) sea del 29%. Así también la Secretaría de Economía, a partir de octubre del 2016, emite la Norma Mexicana NMX-U-125-SCFI- 2016, para la industria de la construcción donde define y especifica los métodos de ensayo para los revestimientos de techo con alto índice de reflectancia solar.

Por lo tanto, es trascendental para toda ciudad con una población de 250,000 habitantes o más, instalar una

red de estaciones que logre generar la creación de un mapa térmico interactivo, abriendo oportunidades de intervención por parte de las autoridades de generar planes dirigidos a la mitigación de las isotermas o por lo menos, de prevenir la creación de edificaciones que intensifiquen la situación; donde la eficiencia energética no solo se enfoque de manera interior, sino en su consideración al microclima que esta generara a sus alrededores.

Si se logra una conciencia de realizar investigación de campo y medición, con un enfoque hacia la resiliencia, para determinar en qué grado se encuentra afectada una ciudad con respecto a ICU en sus diferentes configuraciones urbanas, a través de una red de datos sistematizada con el apoyo de observatorios urbanos tanto gubernamentales como civiles, se puede determinar medidas para continuar con los procesos de urbanización y donde aplicar lineamientos correctivos oportunos, de acuerdo a la variante de conformación de cada caso, que a corto y largo plazo resulta en una mejora en la calidad de vida de sus habitantes, aportando acciones directas contra el Cambio Climático; puesto que reducen el consumo de energía eléctrica y la huella de carbono.

En consecuencia, para potenciar las mediciones y estudios del ICU se propone:

- Detección de los grupos de trabajo privados y públicos de investigadores
- Organización de foros para presentación y discusión de trabajos
- Impulsar el financiamiento de investigación
- Creación y mantenimiento de una red nacional de estudiosos de ICU para discutir y diseñar estrategias de mitigación y adaptación.

Bibliografía

Arnfield, A., (2003). Two decades of urban climate research: a turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International journal of climatology*, Volume 23, pp. 1-26.

Baca Cruz, A. G., (2014). Identificación y Comportamiento de la Isla de calor en la zona conurbada de Veracruz - Boca del Río en el año 2011. s.l.:Universidad Veracruzana. Tesis licenciatura.

Ballinas, M., (2011). Mitigación de la Isla de calor urbana: estudio de caso de la zona metropolitana de la ciudad de México. s.l.:s.n.

Barradas, V., (1987). Evidencia de efecto de "Isla Térmica" en Jalapa, Veracruz, México. *Revista geofísica*, pp. 125-135.

Castilla Higuera, A., García Cueto, R., Camacho, O. & González Navarro, F., (2014). Detección de la Isla Urbana de Calor mediante Modelado Dinámico en Mexicali, B.C., México. *Información tecnológica*, Issue 25, pp. 139-150.

Castilla, A., García, R., Camacho, O. & González, F., (2014). Detección de la Isla Urbana de Calor mediante Modelado Dinámico en Mexicali, B.C., México. *Información tecnológica*, Issue 25, pp. 139-150.

Castillas A., G. R. G. F. C. J. D. E., (2007). Evolución de la Isla Urbana de Calor en Mexicali, BC., mediante una herramienta inteligente.

Cervantes, J. et al., (2000). Aspectos del clima urbano de Villahermosa, México. *Universidad y ciencia*, Volumen 16, pp. 10-16.

Cervantes, J., Sánchez, M. & Barradas, V., (2001). Clima, urbanización y uso del suelo en ciudades tropicales de México.

- Ciudades RNIU, Volumen 51.
- Colunga, M. et al., (2015). The role of urban vegetation in temperature and heat island effects in Queretaro city, Mexico. *Atmósfera*, 28(3), pp. 205-218.
- Contreras, A., Mendoza, J., Angulo, G. & >Urías, H., (2015). Determinación de la Isla de Calor Urbano en ciudad Juarez mediante programa de computo. *Culcyt Clima urbano*, Issue 26, pp. 3-16.
- Correa, A. & García, G., (2000). Análisis del comportamiento histórico de la temperatura en el Valle de México, Ciudad de México: Secretaria del Medio Ambiente, Dirección General de Prevención y control de la Contaminación.
- Coutts, A. M. et al., (2016). Thermal infrared remote sensing of urban heat: Hotspots, vegetation, and an assessment of techniques for use in urban planning.. *Remote Sensing of Environment*, Volume 186, pp. 637-651.
- Crawley , D. B., Hand, J. W., Kummert , M. & Griffith, B. T., (2008). Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment*, 43(4), pp. 661-673.
- Dávila, S., Mendéz, C. & Némiga, X., (2011). Identificación de las islas de calor de verano e invierno en la ciudad de Toluca, México. *Revista de climatología*, Volume 11.
- Díaz Soto, A. & Ruiz Pérez, E., (2015). Uso de percepción remota y sistemas de información geográfica para la determinación de Islas de Calor Urbano en Ciudad Juarez, Chihuahua, s.l.: Memoria SELPER XXI.
- Evans, J. & De Schiller, S., (2005). La isla de calor en ciudades con clima calido-humedo, el caso de Tampico, Mexico. *Avances en Energías Renovables y Medio Aire*, Volume 9, pp. 37-42.
- Foladori , G. & Pierri, N., (2005). ¿Sustentabilidad? Desacuerdo sobre el desarrollo sustentable. México: Miguel Angel Porura.
- Fuentes Pérez, C., (2015). Climatología urbana por modificación antropogénica. Alteración del balance de energía natural. Contexto. Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León, 9(11), pp. 10-16.
- Fuentes Pérez, C., (2015). Islas de calor urbano en Tampico, México: Impacto del microclima a la calidad del hábitat.. *Nova scientia*, 7(13), pp. 495-515.
- Galindo, I., (2007). Identificación y estudios de las islas urbanas de calor de las ciudades de Guadalajara y Colima, propuestas de estrategias de mitigación. s.l.:Proyecto CONACYT-CONAVI:6663.
- García Cueto, O., Jáuregui Ostos, E., Toudert, D. & Tejeda Martínez, A., (2007). Detection of the urban heat island in Mexicali, B.C. Mexico and its relationship with land use. *Atmósfera*, 20(2), pp. 111-131.
- García Cueto, O., Tejeda Martínez, A. & Bojorquez Morales, G., (2009). Urbanization effects upon the air temperature in Mexicali, BC, Mexico. . *Atmósfera*, 22(4), pp. 349-365.
- Gorsevski, V., Taha, H., Quattrochi, D. & Luvall, J., (1998). Air pollution prevention through urban heat island mitigation: An update on the Urban Heat Island Pilot Project. *Proceedings of the ACEEE Summer Study*, Volume 9, pp. 23-32.
- Hernández Romero, M. & Segura López, P., (2012). Determinación de la isla de calor en la ciudad de Poza Rica por efectos antropogénicos. s.l.:Universidad Veracruzana. Tesis Licenciatura.
- Jauregui, E. & Luyando, E., (1997). Long-term association between pan evaporation and the urban heat island in Mexico City. *Atmósfera*, 11(1).
- Jáuregui, E., (1979). La isla de calor en Toluca, Méx.. *Investigaciones geográficas*, Issue 9, pp. 27-37.
- Jáuregui, E., (1992). La isla de calor urbano de la ciudad de Mexico a fines del siglo XIX. *Ciencias de la Atmósfera*, pp. 31-39.
- Jáuregui, E., (1997). Heat island development in Mexico City. *Atmospheric Environment*, 31(22), pp. 3821-3831.
- Jáuregui, E., (2004). Impact of land-use changes on the climate of the Mexico City Region. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, Volume 55, pp. 46-60.
- Jauregui, E., (2005). Possible impact of urbanization on the thermal climate of some large cities of Mexico. *Atmósfera*, 18(4), pp. 249-252.
- Jauregui, E. & Luyando, E., (1997). Long-term association between pan evaporation and the urban heat island in Mexico City. *Atmósfera*, 11(1).
- Landsberg, H. E., (1981). *The Urban Climate*. London: International Geophysics Series, Academic Press.
- Lara Lárraga, R., (2014). La deforestación urbana y su colaboración a la Isla de Calor en la avenida Carranza San Luis Potosí México.. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, Volume 2014-06.
- López-Espinoza, E. D., Zavala-Hidalgo, J. & Gómez-Ramos, O., (2012). Weather forecast sensitivity to changes in urban land covers using the WRF model for

- central Mexico.. *Atmósfera*, 25(2), pp. 127-154.
- Lucero-Álvarez, J., Alarcón-Herrera, M. & Martín-Dominguez, I. R., (2014). The effect of solar reflectance, infrared emissivity, and thermal insulation of roofs on the annual thermal load of single-family households in México. *Proceedings of the EuroSun, Aix-Les-Bains, France, Volumen 16*, pp. 16-9.
- Luyado, E., (2016). Efectos de las temperaturas y precipitaciones extremas en el bioclima humano de la zona metropolitana de la ciudad de México por cambio climático local y global. s.l.:Universidad Autónoma de México, Tesis Doctoral.
- Martínez Arredondo, J., Jofre Meléndez, R., Ortega Chávez, V. & Ramos Arroyo, Y., (2015). Descripción de la variabilidad climática normal (1951-2010) en la cuenca del río Guanajuato, centro de México. *Acta Universitaria*, 25(6), pp. 3-19.
- Martínez, J., (1999). Análisis de la isla de calor en la ciudad de Puebla (México) en el periodo diciembre 1998 abril 1999. s.l.:Universidad Veracruzana. Tesis Licenciatura.
- Mercado, L. & Lovriha, (2017). Morfología de Isla de Calor Urbana en Hermosillo, Sonora y su aporte a una ciudad sostenible. *Bioclimática*, Volumen 19, pp. 27-33.
- Mirzaei, P., (2015). Recent challenges in modeling of urban heat island. *Sustainable cities and society*, Volume 19, pp. 200-206.
- Molar Orozco, M. E., (2015). Análisis térmico de superficies horizontales en espacios públicos. Plaza Manuel Acuña y de Armas en Saltillo, México.. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, Issue 18, pp. 89-101.
- Morales, C., Madrigal, D. & Gonzalez, L., (2007). Isla de calor en Toluca, Mexico. *Ciencia ergo-sum*, 14(3), pp. 307-316.
- Moreno, C., (2001). Unidades Ambientales Urbanas. Xalapa: Universidad Veracruzana.
- Moreno, M., (1990). Bibliografía sobre Climatología Urbana: la "isla de Calor". Barcelona: s.n.
- Moreno, M., (2010). Climatología urbana. Barcelona: Publicaciones y ediciones de la Universidad de Barcelona.
- Oke, T. R., (1987). *Boundary Layer Climate*. New York: Taylor & Francis Group: Routledge.
- ONU, (2021). Departamento de Asuntos Economicos y Sociales. [Online] Available at: <http://www.un.org/es/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html>
- Parada Molina, M., (2013). Evaluación preliminar de la isla de calor en Poza Rica, Ver. s.l.:Universidad Veracruzana. Tesis licenciatura.
- Pérez, S. & López, I., (2015). Áreas verdes y arbolado en Mérida, Yucatán. Hacia una sostenibilidad urbana. *Economía, sociedad y territorio*, 15(47), pp. 01-33.
- Santamouris, M., Synnefa, A. & Karlessi, T., (2011). Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. *Solar Energy*, pp. 3085-3102.
- Srivanit, M., (2013). [Online] Available at: <https://www.slideshare.net/manat-srivanit/quantifying-the-stability-of-summer-temperatures-for-different-thermal-climate-zones-an-application-to-the-bangkok-metropolitan-area>
- Tejeda, A. & Acevedo, F., (1990). Alteraciones Climáticas por la urbanización en Xalapa, Ver..
- Valdez, L., (2016). Ubicación de áreas verdes con base en la evaluación del ambiente térmico urbano. s.l.:Universidad Autónoma de Baja California. Tesis.
- Vidal, J. & Jauregui, E., (1990). Evolución de la isla de calor de Toluca Mex.
- Voogt, J. A. & Oke, T., (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, Volume 86, pp. 310-384.
- Yeang, K., (2001). El rascacielos ecológico. Barcelona: Gustavo Gili.