

CLIMATOLOGÍA URBANA POR MODIFICACIÓN ANTROPOGÉNICA. ALTERACIÓN DEL BALANCE DE ENERGÍA NATURAL

Recibido: 29/06/2015
Aceptado: 11/09/2015

Carlos Alberto Fuentes Pérez¹

Resumen:

La investigación valora el análisis climático histórico para establecer la temperatura y humedad relativa media, en contraste con la climatología urbana por modificación antropogénica estudio de caso, y su contribución de consigna fijado para invierno y verano que son las estaciones críticas. El procedimiento metodológico a implementar, apoya a los planificadores urbanos a no tener que participar científicamente para evaluar el emplazamiento térmico de sus proyectos y por lo tanto se puede acelerar el proceso de diseño sin comprometer el énfasis en el contexto urbano sustentable. Con base a los resultados se establecen las islas de calor urbano y su huella térmica en el hábitat. El objetivo de la presente investigación es determinar la climatología urbana por modificación antropogénica y su alteración a la calidad del hábitat en Tampico, México.

Palabras clave:

Climatología, Islas de calor, hábitat.

Abstract:

The research assesses the historical climate analysis to determine the average temperature and relative humidity, in contrast to urban anthropogenic weather modification case study, and their contribution setpoint set for winter and summer are the season's criticism. The methodology to implement, procedure supports urban planners will not have to participate to scientifically evaluate the thermal construction projects and therefore can accelerate the design process without compromising the emphasis on sustainable urban context. Based on the results of urban heat islands and thermal footprint habitat established. The objective of this research is to determine the urban climate by anthropogenic modification and alteration of habitat quality in Tampico, Mexico.

Key Words:

Climatology, heat islands, habitat.

¹ Doctorado en la Universidad Autónoma de Tamaulipas, contacto: cfuentes@uat.edu.mx

1. Introducción

El trabajo de investigación en primera instancia es un estudio de caso para evaluar la climatología urbana y su impacto térmico en la calidad del hábitat, la zona de estudio es la ciudad de Tampico, México.

Ya que se advierte, por (Lenzholzer y Brown, 2013) que la falta de preparación de especialistas e investigadores y el desconocimiento sobre los orígenes del cambio climático, obligan a los gobiernos a tomar decisiones urgentes y rápidas para tratar de resolver los efectos de la climatología urbana por antropogenia, en lugar de impulsar una visión preventiva. La investigación a decir de (Berger et al, 2014) no va a la misma velocidad que la climatología urbana, consecuentemente al estar retrasada se tiene que tomar medidas urgentes y más rápidas para entender la situación y tratar que los países participen.

No todos los países están participando igual y eso está creando un desfase que crece desproporcionalmente. La situación es la que existe y ya llegó, y tendrán que pasar eventos todavía más graves para que las grandes potencias se den cuenta y reaccionen. Así pues, (Kuttler, 2010) en el caso específico de México, no existe un contacto más cercano con el resto de las naciones para aprender sobre sus experiencias en el abatimiento y combate ante la climatología urbana, pues si bien los esfuerzos aislados son positivos, resultan insuficientes para dar atención a un aspecto global.

Se estima que para el año 2025 gran parte de la población mundial vivirá en áreas urbanas. (Goldberg et al, 1023) la rápida urbanización, la concentración de la población urbana en grandes ciudades, la expansión de las ciudades en zonas geográficamente más amplias y el rápido crecimiento de las megalópolis se encuentran entre las transformaciones más importantes de los asentamientos humanos en las últimas décadas.

Se trata la calidad del hábitat de un concepto muy amplio que está influido de modo complejo por la salud

física del sujeto, su estado psicológico, su nivel de independencia, sus relaciones sociales, así como su relación con los elementos esenciales de su entorno sustentable y su balance de energía natural de comodidad térmica, eso es calidad del hábitat para (Feyisa et al, 2014).

1.1 Hipótesis de la Investigación

Si se realiza la evaluación de la climatología urbana por modificación antropogénica, se determinará la calidad del hábitat en Tampico, México.

Por lo tanto, las variables de estudio son:

Independiente. Climatología urbana

Dependiente. Calidad del hábitat

Valores de observación: Temperatura del aire y humedad relativa ambiental.

1.1 Climatología urbana por modificación antropogénica

Las ciudades ocupan el 2.00% de la superficie de la tierra, pero sus habitantes consumen el 75.00% de los recursos energéticos del mundo. Al momento de redactar esta parte del trabajo de investigación para (Planeta Vivo, 2015) la población mundial es de 7.295.841.440. Para (Gago et al 2013), bajo ciertas condiciones, el calor de la radiación solar y las diferentes actividades urbanas pueden hacer que las temperaturas se eleven en las ciudades y en ciertas áreas, simplemente debido a la forma en que se estructuran, este efecto se conoce como islas de calor urbanas.

El clima en las ciudades a decir de (Millward et al 2014), difiere significativamente de las que se encuentran en los alrededores. Estas diferencias de los resultados de las modificaciones de la superficie de la Tierra que altera la disposición de "balance de energía natural" a una escala micro y la concentración de las actividades que genere emisiones antropogénicas, cambian la composición de la atmósfera. Expresa (Futcher et al

2013), que estos efectos urbanos tienen propiedades temporales y espaciales distintivos con diferentes impactos en la construcción de eficiencia energética en función de su finalidad, que rara vez se representó.

La Administración Oceánica y Atmosférica Nacional de los E.U.A. (NOAA) y la Administración Espacial y Aeronáutica Nacional (NASA) confirman que 2015 es el año más caliente de la historia registrada en el planeta, específicamente en el mes de mayo, subrayan la tendencia sumamente preocupante de la temperatura media mundial récord que se está agravando con cada vez mayor frecuencia. Además, 14 de los 15 años más calientes registrados han ocurrido todos desde el año 2000.

(Singh et al 2014), los efectos de las islas de calor urbanas por climatología urbana ya se conocen desde hace décadas a implicar un aumento de las temperaturas urbanas al aire libre, en comparación con los alrededores. Al mismo tiempo, los últimos años son testigos de la creciente preocupación sobre el impacto del cambio climático a los resultados de la calidad del hábitat en cuanto a comodidad térmica y el consumo de energía necesario para salvaguardar dicha comodidad.

Por lo tanto, expresa (Allegrini et al, 2012) hay que esperar que la vivienda en la zona urbana sea especialmente afectada por el aumento de la temperatura exterior y el efecto que este pueda causar para la comodidad térmica interior. Se vuelve un círculo vicioso el aumento de la temperatura exterior, por consiguiente una crecida de las emisiones de CO₂ asociadas a elevar la demanda de energía para la climatización artificial durante las olas de calor del verano que se prevé en este sentido, como se presenta en el último siglo.

La evolución antropogénica en Tampico, México está causando un fenómeno del calentamiento del centro urbano llamado islas de calor urbanas. El efecto se ve agravado por las características del follaje urbano de concreto, fachadas de vidrio y superficies de asfalto de estructuras edificadas y carreteras. La vivienda absorbe

radiación de onda corta y almacena calor durante el día, y la liberación de calor en la atmósfera en la noche, aumentando así la temperatura ambiente.

No es una exageración para (Vaccari et al, 2013), decir que la humanidad se enfrenta ahora a la amenaza más grave de su existencia. Esto es ahora una emergencia planetaria y una respuesta completa de emergencia son suficientes si se desea tener alguna esperanza realista de evitar los impactos del cambio climático peligroso e irreversible.

(Lee y Lee, 2014), el uso generalizado de climatización de aire acondicionado en las zonas densamente urbanizadas, así como el aumento de los desarrollos comerciales y aumento masivo de los tráficos de automóviles también son factores importantes, que pueden conducir a la formación de ozono y el smog, produciendo una concentración de CO₂ elevada como los últimos años, como se observa del último informe de la NOAA/NASA.

Para (Ho et al, 2014), dicho incremento de ppm de CO₂, como producto de la actividad del hombre está generando un cambio climático global; al momento de redactar esta parte de la investigación para (Planeta Vivo, 2015), se han emitido 4.740.548.824 tm de CO₂ las estimaciones a medio siglo, pronostican un aumento de temperatura de unos 2.00°C por lo que, la población humana está confrontando nuevos ambientes intramuros y extramuros en la vivienda, que pueden afectar la salud y consecuentemente las actividades productivas, así como, la calidad de vida del usuario.

Se hace eco de los recientes comentarios del Secretario General de la ONU, Ban Ki-moon, que, esta es la última generación que puede tomar medidas para evitar los peores impactos de la climatología urbana.

Es difícil creer que mientras se vive una era de crisis ecológica y climática sin precedentes, no se concientice sobre la climatología urbana por la modificación antropogénica.

El último informe de (NOAA/NASA, 2015), suena la campana de alarma una vez más en la emergencia climática. El mejor momento para haber comenzado a afrontar la climatología urbana fue hace al menos dos décadas. El segundo mejor, es en este momento.

Por lo tanto, del sobrecalentamiento del hábitat se prevé que aumente debido al cambio climático antropogénico y la modificación del clima urbano local que conduce a un aumento del efecto isla de calor urbano. Características de la vivienda para (Taylor et al, 2014), como la geometría, la orientación, el aspecto, y vidrio, y las características de la envolvente tales como la masa térmica y resistencia pueden influir en el riesgo de sobrecalentamiento.

El efecto isla de calor urbano es una forma destacada de modificación climática antropogénica localizada. (Giannaros et al, 2014), representa una situación significativa al clima urbano ya que se produce en la capa de la atmósfera donde las actividades humanas casi todas diarias se llevan a cabo.

2. Desarrollo Temático

La climatología urbana de la ciudad y puerto de Tampico, México emana del análisis climático histórico que se desarrolla desde diversas perspectivas metodológicas. Primeramente se analizan los datos con base a las normales climatológicas de 1989 a 2013 que vienen a ser los últimos veinticinco años, para lograr las medias normales de todas las variaciones climáticas con un mínimo de equivocación, proporcionados por la Estación Meteorológica de la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA). Seguido se contrastan con los datos climatológicos proporcionados por el Servicio a la Navegación del Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM) localizado en la Torre de Control del Aeropuerto “Francisco Javier Mina” de la Ciudad y Puerto de Tampico, México; asimismo los datos climatológicos se corroboran con la información obtenida por la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Con todo ello, se expondrán conclusiones climatológicas como sustento del experimento determinando las estaciones y los meses más críticos del año en Tampico, México.

(Pathirana et al, 2014) el clima es uno de los factores más importantes a considerar en el diseño de una vivienda. Las condiciones atmosféricas de un lugar dependen de que la arquitectura y su inercia térmica transformen la acción de los elementos ambientales naturales del lugar de localización.

Los factores climáticos son las condiciones físicas que identifican a una región o a un lugar en particular y determinan su clima. Los principales factores son: la latitud, la altitud y el relieve.

El clima en Tampico, México, es de tipo tropical, subhúmedo, cálido y extremoso. Sus coordenadas son Latitud Norte 22° 12' 00" y 97° 51' 22" longitud Oeste del meridiano de Greenwich, se eleva solamente unos 12 metros sobre el nivel del mar, (Sánchez, 2011).

2.1 Factores ambientales a monitorear

Las nociones científicas de temperatura se apoyan en la idea intuitiva que transmite el propio La experiencia para (Perini y Magliocco, 2014), demuestra que cuando dos cuerpos, uno frío y otro caliente, se ponen en contacto durante un tiempo prolongado, terminan por alcanzar un estado de equilibrio entre ambos que se denomina equilibrio térmico. En ese estado no es posible distinguir cuál de ambos está más frío y cuál más caliente.

El criterio de temperatura es lo que miden los aparatos actuales confiables. Desde el punto de vista arquitectónico la temperatura resulta fundamental en el análisis del comportamiento de la ciudad, ya que junto con los resultados obtenidos de otros factores se puede determinar si se ofrece o no unas condiciones climáticas de comodidad higrotérmica, donde los usuarios están en comodidad térmica sin emplear su sistema termorregulador, al mismo tiempo que determina, en gran medida, si existe planeación urbana a emplear y las medidas de

mitigación térmica en el reacondicionamiento, considerando también la media de humedad relativa.

La humedad relativa es entendida como la cantidad de vapor de agua que contiene el aire, como resultado de la evaporación de las masas de agua producto del calentamiento generado por la radiación solar y la evapotranspiración animal y vegetal.

Este valor varía de acuerdo al tiempo y lugar, y junto con la temperatura, es fundamental para determinar el clima de un sitio. Generalmente, como ocurre en este estudio, lo que se toma en consideración es el valor de la humedad relativa que, aunque es de tipo macroclimático, puede modificarse debido a las variaciones microclimáticas. Para ilustrar lo anterior, se presentan valores históricos de temperatura y humedad relativa de Tampico en las figuras N° 1 y 2, a continuación.

Temperatura y humedad relativa exterior de 1989-2013

Figura 1. Temperatura y Humedad Relativa Anual

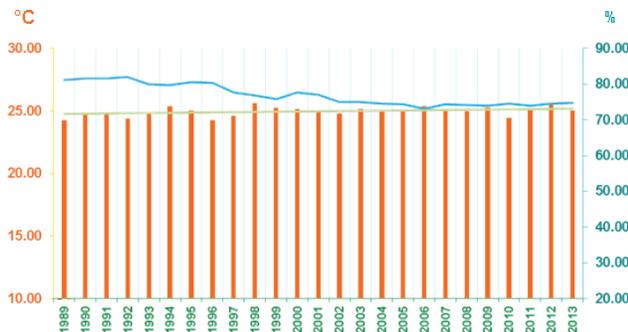


Figura 2. Temperatura y Humedad Relativa Media Mensual



Fuente: Elaboración Propia. Datos de CONAGUA y SENEAM.

Temperatura y humedad relativa media mensual 2014

La presente investigación se realiza en el año de 2014 y cabe hacer la aclaración que en contraste con las mediciones históricas presenta cambios bien marcados, ya que se eleva la temperatura más que en los años anteriores. Estos datos climatológicos se obtienen de CONAGUA y SENEAM, como se aprecia la climatología en la figura N° 3.

Figura 3. Temperatura del Aire y Humedad Relativa Mensual 2014



Fuente: Elaboración Propia. Datos de CONAGUA y SENEAM.

Efecto isla de calor urbano

El efecto de la isla de calor es consecuencia de la climatología urbana, de que las zonas edificadas ofrecen más superficie de absorción de calor, el cual irradian lentamente durante la noche. Otro efecto de los edificios altos para (Taleb y Abu-Hijleh, 2013), son las múltiples reflexiones horizontales de la radiación recibida, que aumentan la probabilidad de que esta energía permanezca en el suelo en lo que se conoce como efecto cañón.

Por lo tanto, la falta de grandes zonas verdes y el entubamiento de los afluentes acuáticos en la ciudad reducen las oportunidades de transformar la energía solar a través de los procesos de fotosíntesis o evaporación del agua. Diversos estudios como el de (Buyadi et al, 2013), muestran la relación directa entre las altas temperaturas urbanas y la falta de vegetación.

Por otra parte, expresa (Adrian et al, 2013), que la actividad comercial y doméstica genera un aporte de calor al medio. En particular los sistemas de climatización en la ciudad forman parte de un círculo vicioso, ya que generan calor extra y su uso se incrementa con la temperatura.

Algunos autores como (Anniballe et al, 2014), explican la isla de calor como un efecto invernadero local, pues los gases se encierran en un solo lugar provocando una cápsula de gases que absorbe calor del sol. Los materiales que forman la ciudad absorben la radiación solar de onda corta y la emiten posteriormente con una longitud de onda más larga, frecuencia que resulta retenida por partículas en suspensión y gases de combustión.

La cápsula de gases para (Lee et al, 2014), sólo puede ser rota por los vientos, si en la superficie hay demasiados edificios de mucha altura el aire es obstruido y la cápsula no se rompe, sin embargo hasta lo más natural puede provocar una cápsula de calor.

Otra de las causas que provocan el efecto de isla de calor es el albedo. Explica en su estudio de caso (Cotana et al, 2014), que el albedo es la capacidad de reflejar en mayor o menor medida la radiación solar. Por regla general, un color más claro absorbe menos calor que un color más oscuro. Las calles hechas de asfalto alcanzan temperaturas mayores a aquellas alcanzadas por una calle hecha de concreto relativamente nuevo.

Es por esto, que la isla de calor puede llegar a disminuir el período frío del invierno y extender el de verano, adelantando la primavera y retrasando el otoño. Su efecto sobre la temperatura urbana para (Coseo y Larsen, 2014), puede reducir el uso de la calefacción en invierno, pero aumenta la demanda de climatización en verano. El mayor uso de la climatización incrementa la demanda energética, con sus consecuentes perjuicios ambientales y económicos.

A nivel ambiental, la mayor temperatura también contribuye a las reacciones de los gases de combustión presentes en la atmósfera. En algunos casos no sólo resulta afectada la temperatura de la ciudad sino también de sus alrededores, alterando el clima regional.

(Radhi y Sharples, 2013), exponen que la capa de límite urbano viene a ser la capa de aire de la atmósfera más próxima a la superficie, cuyas características meteorológicas locales están influidas, térmica y dinámica-

mente, por esa superficie. Se trata, fundamentalmente, de una capa de mezcla, o sea turbulenta, generada por el desplazamiento del aire a través de una superficie rugosa y rígida y por la elevación convectiva de las burbujas de aire.

Esta capa límite urbano se extiende desde las losas de los edificios hasta un nivel por debajo del cual los fenómenos locales o mesoescléricos están gobernados por la naturaleza de la superficie urbana.

A partir del modelo de (Oke, 1976), se propone lo que viene a ser el palio urbano para aquellos sectores entre los edificios que presentan toda una amalgama de microclimas por las características de los alrededores más inmediatos.

El cañón urbano se emplea para designar a la principal unidad del palio urbano, que incluye el suelo, normalmente de una calle, entre dos edificios adyacentes y sus muros.

El factor de visión del cielo para (Wang y Akbari, 2014), en el ámbito urbano alcanza valores pequeños, porque las características geométricas de las calles y de los edificios urbanos, así como los numerosos obstáculos existentes hacen que los ángulos de emisión de la radiación de onda larga nocturna a la atmósfera sean más reducidos que en el campo abierto, donde existen menos obstrucciones y por lo tanto hay mayor superficie libre de cielo a la que pueda ser devuelta, sin ningún impedimento, la irradiación. Precisamente para (Feyisa et al, 2014), este factor constituye una de las principales causas que contribuyen a la formación del fenómeno de la isla de calor.

Para (Feng et al, 2014), el transecto es una idea precisa acerca de la técnica empleada usualmente en el estudio de los climas urbanos y que consiste en la toma de medidas meteorológicas a lo largo de un recorrido o ruta previamente establecidos, con representación gráfica de un área urbana y sus variaciones microclimáticas.

En Tampico, México para (Fuentes, 2011), se presenta también por la isla de calor el fenómeno del

mesoclima tropical, que viene a ser el proceso de las diferencias de temperaturas Sistema Lagunario-Ciudad-Golfo de México, que crean con frecuencia discrepancias locales de presión que desencadenan el paso de un sistema de brisa marina, originado por el calentamiento urbano al amanecer y del mar por su cercanía, atravesando la ciudad, denominado mesoclima tropical.

El comportamiento de la brisa urbana es al contrario que la marina, se presenta al atardecer cuando la temperatura de las aguas del Golfo de México es más alta que la de la ciudad, la brisa urbana tiene indudables efectos benéficos ya que supone un cierto alivio térmico al aportar aire más fresco y más limpio a la ciudad, contribuyendo, además, a temperar el clima.

Este fenómeno del mesoclima tropical que se presenta en la Ciudad y Puerto de Tampico, México hasta la fecha no es sujeto de estudio en alguna investigación, ya que dependencias como CONAGUA, SENEAM, C.F.E. La Facultad de Arquitectura o Ingeniería de la UAT, no tienen registro alguno, pero consientes están de que se debe evaluar, por sus hipotéticas utilidades en los emplazamientos de la Arquitectura.

Por lo tanto, la isla de calor para (Dimoudi et al, 2013), es una de las modificaciones climáticas más claras causadas por la urbanización, como el incremento térmico en la ciudad en comparación con su periferia.

La isla de calor es la representación gráfica de la distribución espacial de la temperatura en la ciudad y sus alrededores mediante un mapa de isothermas, donde está presenta una disposición concéntrica, y señala la existencia de una isla térmica por efecto urbano a escala microclimática.

Se pueden dibujar mapas de temperaturas a partir de líneas imaginarias, llamadas isothermas, que unen puntos de la superficie terrestre que tienen igual temperatura. Se generaliza tomando superficies con parecidos valores de temperatura y representando superficies a las que se asignan valores medios próximos o iguales. Las temperaturas varían según los meses del año. La palabra isoter-

ma proviene de las raíces griegas, isos igual y termos temperatura.

Las isothermas son líneas que se trazan en los mapas uniendo puntos de igual temperatura reducidas al nivel del mar. Los meses de enero y agosto son aquellos en los que se registran las menores y mayores temperaturas medias mensuales, por lo que se elaboran mapas correspondientes a estos meses que ofrecen características indispensables para conocer el microclima de Tampico, México.

3. Metodología

Según el nivel de conocimiento científico y observación al que espera llegar el investigador, formula que la presente investigación es en primera instancia, un estudio diacrónico, y conformado como estudio de caso, de acuerdo al tipo de información que se espera obtener, así como el nivel de análisis que se debe realizar, considerando los objetivos y la hipótesis de trabajo. El presente trabajo es diacrónico, porque analiza el problema de investigación en su génesis y conformación histórica con una visión de conjunto, que permite establecer las causas verdaderas que lo originan, como también la manera como se manifiesta en el proceso de su desenvolvimiento.

La investigación permite desmembrar, con base a la hipótesis de trabajo, toda una idea, con el propósito de determinar la climatología urbana por modificación antropogénica, estableciendo la calidad del hábitat.

Por lo tanto, es una investigación experimental aplicada para identificar patrones del comportamiento de temperatura y humedad relativa solamente, no realizados con anterioridad en Tampico, México.

El comportamiento térmico es el hilo conductor de la investigación, por medio de los factores que influyen en la comodidad al exterior en la zona estudio de caso, por la tendencia del microclima que viene a ser el efecto de la isla de calor urbano y sus variaciones en Tampico, México.

A continuación se presentan uno a uno los pasos a seguir para lograr metodológicamente el presente trabajo de investigación.

3.1 Climatología urbana por modificación antropogénica

Este trabajo aborda las características del microclima urbano que afecta el rendimiento y balance de la energía natural. Se pretende por lo tanto, evaluar si los parámetros climáticos están influenciados significativamente por los atributos de texturas urbanas, que ponen de relieve la necesidad tanto de proporcionar la información microclimática y utilizarla en las etapas de diseño de la edificación.

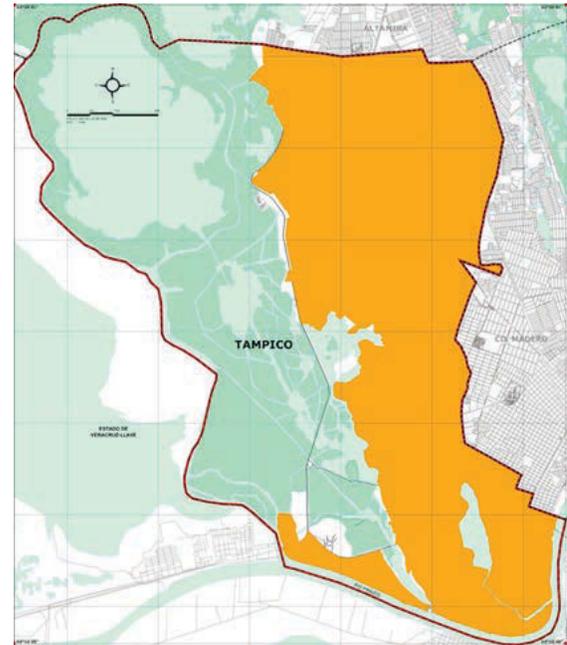
Esta investigación proporciona un valioso conjunto de información microclimática para la zona urbana densa de la ciudad, en Tampico, México.

Se pretende utilizar la información climatológica urbana en lugar de los datos del tiempo meteorológico en su mayoría recogidos de entornos no urbanos del estudio de factibilidad para la implementación de tecnologías de energía renovable y la evaluación del desempeño térmico/energético del hábitat.

3.2 Zona de estudio de la climatología urbana

Las islas de calor urbano tienen su origen en la transformación del suelo rural en urbano, caracterizado principalmente por alterar los componentes naturales del suelo y modificar las propiedades físicas y térmicas, en las que se incluyen las aerodinámicas, radiactivas, hídricas, térmicas, la generación de calor antropogénico y la rugosidad superficial, es decir, las ICU pueden estar presentes a diferentes escalas, dependiendo de su localización geográfica, de las condiciones climáticas y del uso del suelo, (Unger et al, 2011). Se determina la zona de estudio, en el presente trabajo a la ciudad y puerto de Tampico, México como se observa en color amarillo, en la figura N° 4.

Figura 2. Zona de Estudio de la Climatología en Tampico, México



Fuente: Programa Municipal y Desarrollo Urbano de Tampico (2014).

En el entendido, de que los datos sobre el ambiente o la climatología urbana se recogen normalmente en algunas estaciones de monitoreo de puntos distribuidos sobre una ciudad. Sin embargo, el punto de vista sinóptico de los satélites, donde toda una ciudad es visible en una sola imagen permite la recogida de datos espacialmente integrales a escala de toda la ciudad. A pesar de la rápida evolución de los sistemas de teledetección y software avanzados, aún existen deficiencias en la resolución de la imagen y el desarrollo de algoritmos para aplicaciones como el monitoreo de la calidad del aire y el análisis de las islas de calor urbano, de no muy buena exactitud a microescala.

Por lo tanto, el presente trabajo de investigación se apoyará en datos obtenidos directamente de aparatos confiables y realizados personalmente por el investigador.

Investigación experimental aplicada para determinar la climatología urbana

Se inicia metodológicamente para determinar las islas de calor urbano en Tampico, México con la representación gráfica de la distribución espacial de la temperatura en la ciudad y sus alrededores mediante un mapa de isotermas, donde está presente una disposición concéntrica, y señala la existencia de una isla térmica por efecto urbano a escala microclimática.

Se dibujan por parte del investigador del presente estudio mapas de temperaturas a partir de líneas imaginarias, que unen puntos de la superficie de la ciudad de Tampico que tienen igual temperatura. Se generaliza tomando superficies con parecidos valores de temperatura y representando superficies a las que se asignan valores medios próximos o iguales.

Los datos de temperatura son registrados cada 10 segundos por el investigador y un grupo de colaboradores de su propio Cuerpo Académico de Calidad del Hábitat, con 5 sensores denominados HOBO Prov2 de intemperie para asegurar una rápida respuesta a las variaciones térmicas, los cuales tienen un puerto USB óptico para transferir los datos y un transportador a prueba de agua para manejo y recuperación de datos en campo.

Se colocan los Hobo's sobre la parte superior de las camionetas que se proveen como vehículos en su caja trasera y se fijan, con la intención de no alterar los monitoreos de los valores térmicos.

Los datos de los registradores HOBO Pro v2 se exportan a una hoja de cálculo de Microsoft Office Excel, por medio del Hoboware software y la estación base óptica U-4 con acoplador para manejar los Hobo's, donde se realizan las mediciones integrales de temperatura del aire en °C y humedad relativa en %, para lograr de inmediato una visualización de los valores térmicos obtenidos, por medio de un plano de la ciudad instalado en un diseño asistido por computadora denominado AutoCAD.

Además, en cada camioneta de tipo pick up, un pasajero en la cabina conduce, otro se ocupa de registrar la ubicación cada minuto, utilizando las intersecciones principales como referencia ubicándolas en un plano de la ciudad.

También otro con cámara fotográfica en mano en la parte posterior exterior, en la caja de la camioneta, identifica las características morfológicas del entorno construido con alturas, separaciones, configuración de la línea de edificación y cañones urbanos, presencia de vegetación y cuerpos de agua entre otras variables.

La velocidad de los vehículos es lo más lento dentro de las posibilidades de tráfico en las arterias.

Las mediciones deben ser obtenidas entre las 20:00 y 21:00 horas, de mínimo 8 diferentes días de enero y en mínimo 8 días de agosto que se realizan los transectos, para contrastar y corroborar los valores térmicos, en los meses que se presenta el periodo de mínima y máxima intensidad de las islas urbanas de calor, (Oke, 2006) y sin influencia de la radiación solar.

En primera instancia los transectos se proyectan por el investigador para obtener datos en un periodo máximo de una hora y contar no sólo con una amplia cobertura de la zona en estudio, sino que incluya distintas áreas características de la ciudad de Tampico, México.

Se realizan los transectos en sentido longitudinal de la ciudad sobre las principales vialidades o red viaria creando intersecciones o nodos para contrastar ambas mediciones, se continúan las rutas en sentido transversal de la ciudad sobre vialidades primarias y secundarias, retomando en otro día lo opuesto para cruzar información de los valores térmicos, como se presenta en la figura N° 5 a continuación en color rojo.

Figura N° 5. Transectos y traza urbana en Tampico, México



3.3 Modelado de las isotermas e islas de calor con ArcGIS 10.2.2

Para el presente trabajo se realiza el modelado de las islas de calor mediante la información de los valores térmicos a través de la Plataforma del Sistema de Información Geográfica (SIG).

En comparación con tareas que se realizan con simulaciones satelitales, la utilización de los SIG, tienen grandes ventajas en tiempo, personal, precisión y eficiencia. Así como la posible realización de tareas que hasta el momento no se habían podido llevar a cabo. El trabajo plantea los principales aspectos en orden del acondicionamiento térmico como el que incide en el ambiente, el análisis, diagnóstico y la toma de decisiones más precisa y eficiente para la planificación, diseños urbanísticos e intervención de las islas de calor en Tampico, México.

3.4 Isotermas en invierno y verano

Se elaboró en primera instancia un mapa en AutoCAD teniendo como base la traza urbana de Tampico, en la cual se ubicaron los polígonos delimitando las isotermas y obteniendo así un mapa en formato DWG, el cual se pasa a un formato SHP, con el cual se trabajó y se creó un mapa con formato MXD en el que se realizó la Interpolación a partir de puntos e isotermas.

3.5 Islas de Calor en invierno y verano

Para su realización se utilizó la plataforma del Sistema de Información Geográfica (SIG) mediante el ArcGIS 10.2.2 que actual puede ser considerada como dos o dos y un medio de dimensión en lugar de tres interfaces de dimensión, donde las coordenadas X-Y se muestran como gráficos y las coordenadas Z se almacenan como los atributos de los objetos, tales como son las islas de calor en la zona de estudio.

El proyecto de investigación muestra una manera de modelar el microclima urbano mediante una combinación de análisis estadístico y un Sistema de Información Geográfica, las características de calles urbanas

seleccionadas mostraron efectos variables en los diferentes materiales de la superficie y en diferentes momentos del día.

El modelo aplicado en el SIG es para crear mapas de predicción térmica para Tampico, México y determinar los puntos de altas y bajas temperaturas de la ciudad. El SIG es la tecnología más utilizada entre una amplia gama de investigadores y profesionales, este trabajo proporciona un medio para mejorar la síntesis, la integración y el intercambio de información para comprender la relación entre la antropogénica y el calor de estrés vulnerable dentro de la climatología urbana. Esta metodología es útil en el esfuerzo por reducir la morbilidad y la mortalidad relacionada con el calor, que se espera que aumente con el calentamiento global proyectada.

Cuando se trabaja con un SIG la interpolación espacial suele utilizarse para obtener capas raster que representan la variable a interpolar. En esos casos cada celdilla de la capa raster constituye un punto en el que hay que realizar la interpolación.

Lo más habitual es partir de medidas puntuales, variables climáticas, variables del suelo o de isolíneas, curvas de nivel. Aunque los métodos que se utilizan en uno u otro caso son bastante diferentes, todos los métodos de interpolación se basan en la presunción lógica de que cuanto más cercanos estén dos puntos sobre la superficie terrestre, los valores de cualquier variable cuantitativa que se mida en ellos serán más parecidos, para expresarlo más técnicamente, las variables espaciales muestran autocorrelación espacial.

Una vez concluido el proceso de la elaboración se exportó a un formato JPG. Para poder manipularlo en el trabajo de investigación.

4. RESULTADOS

En las últimas décadas, la isla de calor urbano (ICU) es un fenómeno de las ciudades y sus temas correspondi-

entes, incluyendo los métodos de mitigación se han convertido en los principales temas de investigación en el ámbito de la climatología urbana por modificación antropogénica.

El presente trabajo lleva a cabo sus resultados mediante monitores de valores térmicos en el entorno urbano, para determinar los modelos de previsión, las estrategias de mitigación de impacto, las predicciones de temperatura del aire urbano, la mejora de la suposición del tiempo y el pronóstico de la calidad del hábitat y su alteración del balance de energía natural. Con la idea de interpretar el desarrollo urbano sustentable en la ciudad, proporcionando a los planificadores urbanos diferentes aspectos de los parámetros climáticos urbanos para que los incorporen a sus parámetros de diseño.

4.1 Climatología urbana por modificación antropogénica

Sin embargo, es bastante difícil para los planificadores intentar diseñar sin comprometer al investigador del clima urbano. Actualmente, el Sistema de Información Geográfica (SIG) es una plataforma de uso general en el presente trabajo con aplicaciones geográficas relacionadas, incluidas las relativas a la investigación del clima urbano.

Aunque es, según todos los estándares, una herramienta apropiada de diseño urbano, donde los planificadores urbanos tienden a no adoptar esta tecnología, pero los resultados del trabajo en primera instancia, presentan una idea para superar este reto mediante el desarrollo de una plataforma de diseño urbano fácil de usar, para la situación actual y a futuro en Tampico, México.

La integración del análisis climático histórico, con herramientas de evaluación del microclima urbano es una tarea compleja pero con un futuro prometedor. Es la integración de la evaluación macro, meso y microclimática como parte del proceso de diseño urbano. Los planificadores urbanos podrán evaluar el impacto de sus diseños, es decir, el cambio de la morfología urbana, a la

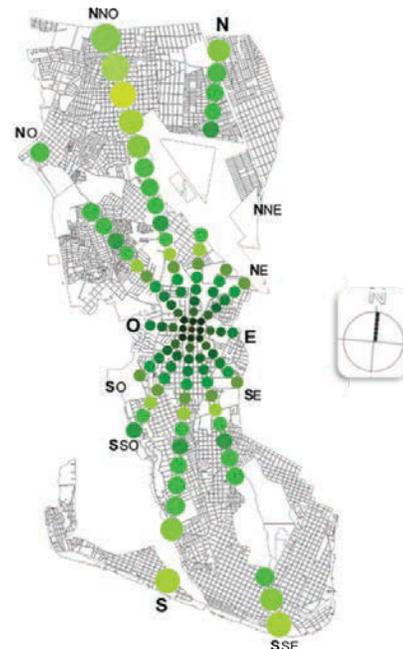
condición climática urbana simultáneamente sin los científicos que participan por separado.

Los resultados de la climatología urbana se pueden lograr a través de varias etapas. La primera etapa es la integración de los diferentes datos del macroclima de la zona. La segunda etapa consiste en la integración del modelado en 3D con la plataforma de simulación SIG. Y, finalmente, la integración entre datos en tiempo real del microclima urbano y la condición del entorno de los escenarios habitacionales para determinar la calidad del hábitat.

Para la delimitación del área urbana y contraste de valores térmicos del microclima en los transectos se utilizó el factor de ocupación del suelo, representativos de cada nodo urbano, como se muestra en la figura N° 6 del trabajo. Así se obtuvieron puntos de distribución espacial, que se asumen como el límite urbano de la estructura vial en Tampico, México.

4.2 Distribución de Nodos en la Traza Urbana en Tampico, México

FIG. 6. DISTRIBUCIÓN DE NODOS DE LA TRAZA URBANA



Fuente: Nodos, Elaboración Propia. Plano, Dirección de Obras Públicas de Tampico

Los mapas de isotermas y su límite urbano se presentan con sus temperaturas medias estacionales de invierno y agosto de 2014, que es cuando se realiza el experimento científico. Los transectos verdes indicados son relevantes ya que dependiendo del comportamiento de temperatura media de invierno y verano, se obtienen sus valores térmicos máximos o mínimos en las figuras N° 7 y 8 del trabajo.

4.3 Mapas de isotermas y transectos en Tampico, México.

Figura 7. Mapa de isotermas y transectos de invierno en límite urbano

Temperatura media exterior de invierno 20.00°C

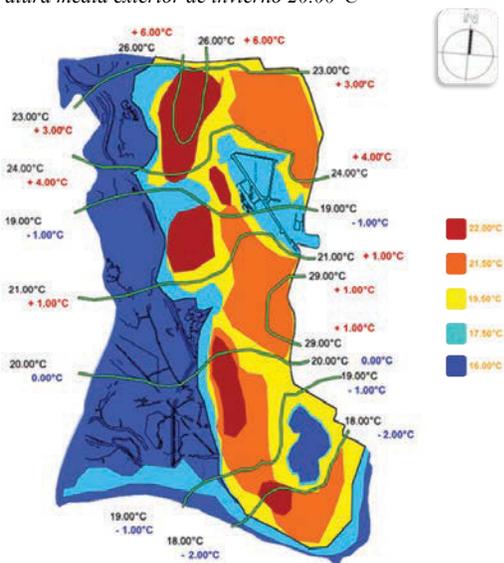
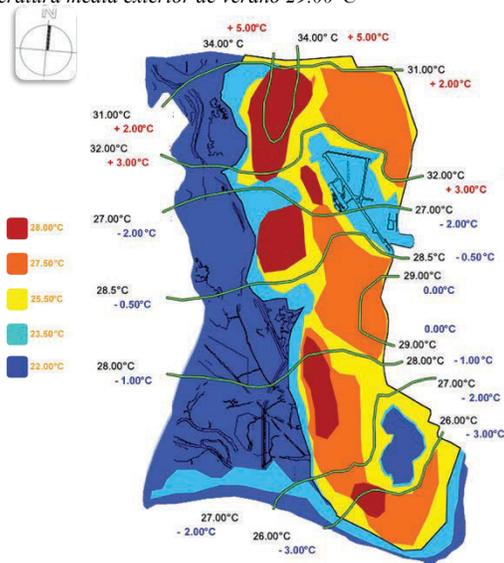


Figura 8. Mapa de isotermas y transectos de verano en límite urbano

Temperatura media exterior de verano 29.00°C



Fuente: Elaboración Propia. Valores Térmicos Hobo's Pro v2

La climatología urbana por modificación antropogénica se identifica en las islas de calor y su escala térmica en las figuras N° 9 y 10 en las estaciones críticas de 2014 del presente trabajo.

Figura 9. Islas de calor en invierno y su escala térmica con ArcGIS 10.2.2

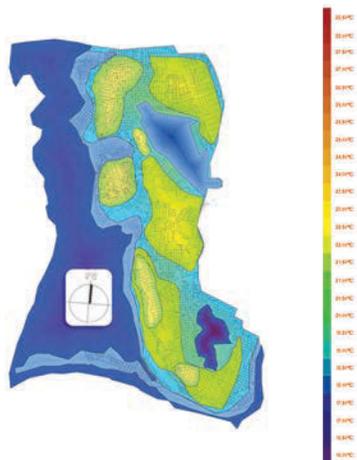
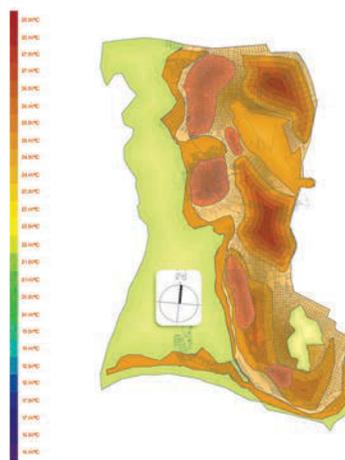


Figura 10. Islas de calor en verano y su escala térmica con ArcGIS 10.2.2



Fuente: Elaboración Propia. Valores Térmicos Hobo's Pro v2

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones son la síntesis de los resultados por medio de datos duros emanada del trabajo de investigación, en primera instancia del análisis climático histórico, así como de la distribución de nodos, la conformación de los mapas isotérmicos por medio de los transectos, la realización de las islas de calor urbano y su escala térmica.

5.1 Conclusiones del análisis climático histórico

En primera instancia, del análisis climático histórico de Tampico, México se desprende que la temperatura media anual es de 25.00°C, la tendencia de temperatura media anual de los últimos 25 años es de +0.40°C.

La humedad relativa media anual es de 77.50%. El año que mayor humedad relativa media anual presenta en el análisis histórico es 1995 con el 82.00%, el año con menor precipitación media anual menor es 2006 con 73.00%.

Los años con temperatura media anual más alta son 1998 y 2012 con 26°C, el año con temperatura media más baja es 1989 con 24.00°C; la oscilación térmica entre ambos es de 2.00°C.

El mes con mayor humedad relativa media es enero con 80.00% y el mes con menor humedad relativa media mayo con 76.00%.

El mes con temperatura media más baja es enero con 19.00°C, considerado el mes crítico y el mes con temperatura media más alta es agosto con 29.00°C como el mes más crítico, la oscilación entre ambas es de 10.00°C.

La temperatura media de primavera es de 25.00°C La temperatura media de verano es de 29.00°C

Estación Crítica

La temperatura media de otoño es de 26.00°C

La temperatura media de invierno es de 20.00°C

Estación Crítica

La humedad relativa media de primavera es de 77.00

La humedad relativa media de verano es de 77.00%

La humedad relativa media de otoño es de 77.00%

La humedad relativa media de invierno es de 79.00%

La precipitación estándar media anual es de 14.30 mm, el año con mayor precipitación pluvial media estándar es 2002 con 66.00 mm y el año con menor precipitación media estándar es 1989 con 0.08 mm.

El mes de mayor precipitación media es octubre con 30.00 mm, y el de menor precipitación media es marzo con 4.50 mm.

Los meses con menor precipitación pluvial son de diciembre a abril, en las estaciones de invierno y primavera.

Los meses con mayor precipitación pluvial son de mayo a noviembre, en las estaciones de verano y otoño.

La velocidad de los vientos reinantes media anual es de 3.60 m/s destacando con dirección Sureste, la velocidad de los vientos dominantes, quienes sometidos en intensidad a los reinantes producen una velocidad media anual de 8.60 m/s e influyen principalmente con dirección Norte.

Asimismo el comportamiento anual de temperatura media mensual de 2014 es de 25.30°C con un diferencial térmico superior de +0.30°C en contraste con la histórica.

El mes de 2014 con temperatura más baja media es enero con 17.40°C por lo tanto es el mes más crítico para la estación de invierno.

También el mes de 2014 con la temperatura más alta media es agosto con 30.10°C por lo que es el mes más crítico para la estación de verano. La oscilación térmica entre ambas es de 12.71°C .

Para el presente trabajo se determina que las estaciones más críticas y pertinentes para poder realizar el experimento de investigación fueron invierno y verano, y los meses críticos corresponden a enero y agosto respectivamente.

5.2 Conclusiones de la distribución de nodos

Para lograr los índices de la zona de estudio se utilizaron los valores de factor de ocupación del suelo, representativos de cada nodo urbano, por ser este índice el que mejor representa las características propias de la ocupación del territorio. Se procesan dichos valores del factor del suelo con el modelado de AutoCAD al que se le ejecutan cortes horizontales con equidistancias en $^{\circ}\text{C}$. Así se obtuvieron isolíneas representativas de sus formas de distribución espacial.

La isolinia correspondiente al factor de ocupación del suelo se asume como el límite de la ciudad. Al superponer esta isolinia sobre la trama urbana digitalizada de la ciudad con igual escala de dibujo se regulariza en función de la estructura vial en Tampico, México, por ser esta donde se asumen los límites geográficos, políticos y administrativos de una ciudad.

La evaluación de la distribución de nodos se realiza sustentándose en tres parámetros característicos:

Alcance: distancia máxima medida sobre cada orientación cardinal, desde el centro principal hasta la isolinia.

Extensión: porcentaje de variación entre la distancia del límite urbano al centro principal de cada isla de calor urbano y la distancia del alcance máximo a los límites mínimos de cada isla de calor, medida sobre el eje de cada orientación cardinal.

Intensidad: valor máximo absoluto de diferencia de temperatura, obtenido en el centro de cada isla de calor urbano.

Los nodos presentan puntos de contrastación de mediciones al cruzarse los vehículos que monitorean los valores térmicos del microclima, los cuales se tipifican en la bitácora y cotejan con los demás para con ellos al unir los de las mismas temperaturas y humedad relativa dan como resultante las isotermas en Tampico, México.

La determinación de los mapas de las isotermas urbanas es mediante los valores térmicos registrados de temperatura en $^{\circ}\text{C}$ de cada uno de los 96 nodos urbanos, se construye un modelo espacial del comportamiento de dicha variable microclimática.

Esta información se procesa mediante el software de interpolación de datos, para convertir la información puntual disponible, en información continua más ajustada a la realidad y comparable con otros datos territoriales. Utilizando un modelado con base radial se realizaron cortes horizontales y se obtuvieron las isotermas urbanas, donde se muestran las de verano e invierno en 2014.

5.3 Conclusiones de los mapas de isotermas y transectos en límite urbano

Para determinar los mapas de las isolíneas de las isotermas, se consideró como base referencial el primer nodo urbano de cada orientación cardinal, se calculan las contrastaciones de temperaturas en $^{\circ}\text{C}$ correspondientes a los nodos urbanos en la misma dirección. Los valores térmicos obtenidos se procesan para convertir la información exacta disponible en información continua. Utilizando un modelado con base radial. Esto permite obtener isolíneas representativas de la forma de distribución. En general, estas isolíneas resultan concéntricas al origen de los ejes de referencia de la ciudad.

Para invierno las isolíneas concéntricas presentan valores térmicos que van de los 16.00°C a los

22.00°C y en verano son de 22.00°C a 28.00°C como temperaturas medias mensuales de cada isla de calor determinada.

Existen correspondencias, en invierno y verano, entre la ocupación urbana y la modificación antropogénica que la ciudad produce a la temperatura microescalar, verificadas en las consideraciones que a continuación se exponen. La isolinia representativa del límite urbano presenta un patrón similar a la isolinia límite de cada isla de calor urbano.

Las curvas que representan la modificación térmica del clima microescalar que se produce en un área urbana siempre exceden al límite urbano. Esto indica que el efecto térmico del área urbana no se limita solo a su ocupación del suelo, sino que afecta a sus zonas perimetrales colindantes y se extienden.

La correlación entre el alcance de cada isla de calor y la distancia al límite urbano muestra una tendencia creciente. Ello indica que a medida que se incrementa espacialmente el área urbana, aumenta la distancia máxima desde el centro principal hasta la isolinia. La intensidad de cada isla de calor aumenta según el incremento de la ocupación urbana, el empleo de pavimentos y la falta de vegetación. Dada la tendencia generalizada en relación con el crecimiento de la ciudad, los planificadores urbanos deberán considerar como una importante variable microclimática de estudio, este aumento en la diferencia entre la temperatura urbana y la no urbana.

La investigación experimental aplicada refleja los datos climatológicos del macroclima de CONAGUA y SENEAM utilizados como puntos de referencia y contraste, con los valores térmicos de temperatura de los mapas de isotermas del microclima, por medio de sus transectos en el límite urbano que son comparados para asegurar que en enero de 2014 la temperatura media exterior durante el experimento es de 20.00°C y los mapas de isotermas presentan en invierno transectos que van de los 18.00 a 26.00°C como temperatura media, con varia-

ciones térmicas de -2.00 hasta los +6.00°C en sus transectos críticos marcados en color verde; y temperatura media de verano es de 29.00°C, y los valores en los transectos van de los 26.00 a 34.00°C, con variaciones de -3.00 hasta los +5.00°C.

Los mapas de isotermas presentados en AutoCAD son la idea inicial de las islas de calor urbano identificadas en el área de estudio, donde exhiben una clara relación espacial con las superficies escasamente vegetadas, de menor contenido de humedad relativa y de más baja reflectividad, lo que permite explicar las altas temperaturas que las caracterizan.

Los mapas de las isotermas en la zona de estudio presentan una degradación ambiental relevante de la calidad del hábitat en Tampico, México no sólo generan el stress térmico que afecta a la comodidad de la población, sino que además facilitan la contaminación fotoquímica de la atmósfera, que afecta a la salud y la convergencia de las plumas de contaminación hacia las áreas más cálidas de la ciudad. La relación entre el fortalecimiento de las islas de calor urbano y la ocurrencia de ondas de calor en la ciudad es una preocupación creciente, principalmente en invierno, el cual se está extendiendo cada año más.

En lo conclusivo, el mapa de isotermas proporciona la unión de isopuntos de similar temperatura microclimática cotejada con los transectos críticos que dan como resultante las diferentes islas de calor identificadas en Tampico, México.

5.4 Conclusiones de las islas de calor urbano y su escala térmica

Los planificadores y los gestores urbanos en el crecimiento de Tampico, México comparten importantes responsabilidades sobre los cambios climáticos existentes y futuros en la ciudad, como las bajas condiciones de calidad de vida urbana que afectan a la mayor parte de la población por; incomodidad térmica, contaminación atmosférica, enfermedades respiratorias y crónicas relacionadas, riesgos natu-

rales como inundaciones, avalanchas y anegamientos, estos factores revelan severas y permanentes fallas en la planificación y gestión de las ciudades, constituyen un urgente llamado para resolver estas situaciones acumulativas.

Una variable ajena que se observa, es que el microclima del centro histórico de la ciudad produce el aumento de la temperatura al interior de las edificaciones, ya que el 87.00% de las destinadas a viviendas en el primero y segundo cuadro de la ciudad se transforman en comercios, oficinas, tiendas, escuelas y restaurantes, entre otros.

La variación de zonas densas del centro histórico y franjas periféricas con agua y vegetación es demostrativa del impacto al hábitat construido, con vialidades de concreto, derrumbe de antiguos edificios para convertirlos en estacionamiento con materiales cálidos como los asfaltos, comercios y oficinas con climatización de alto tonelaje.

Sin embargo, y a pesar que tanto la densidad de la masa edificada como las alturas de los edificios son menores en los nuevos centros comerciales como la Zona Dorada, se considera que la gran extensión de superficies de estacionamiento de vehículos con asfalto oscuro sin presencia de vegetación y la gran capacidad de los equipos de refrigeración son factores que influyen en las temperaturas registradas en estas zonas, adicionalmente a la concentración de tránsito.

En Tampico, México se contemplan actualmente 92, 517 viviendas registradas ante la Dirección de Obras Públicas el 65.00% de ellas se ubicada al Norte de la ciudad, donde coinciden con altos registros térmicos. Las lagunas, tanto dentro de la zona urbana como las adyacentes a la zona estudiada, presentan temperaturas menores, mientras el efecto moderador del mar también es aparente, con el sistema de brisas del mesoclima tropical en Tampico, México.

En lo conclusivo en lo que respecta a la climatología urbana por modificación antropogénica a diferencia de estudios anteriores, donde se verifica una sola isla de calor en la ciudad, con temperaturas crecientes hacia el centro de la zona urbana, en este trabajo se detectan varias zonas de mayor temperatura, coincidentes con distintos centros en una estructura urbana poli-céntrica, por lo tanto el estudio es pionero en la región. Las islas de calor obtenidas del trabajo de investigación, tanto en invierno como para verano presentan en su morfología dimensiones muy similares, pero con diferentes valores térmicos.

Para contribuir a la mitigación de las islas de calor y mejorar la calidad del hábitat, se debe mantener espejos de agua y franjas de vegetación en la zona urbana, así como evitar grandes extensiones de asfalto, especialmente en estacionamientos vehiculares, así como considerar a Tampico, México como una ciudad más compacta lo que implica crecimiento vertical y redundante en distancias más cortas, evitando con esto el indiscriminado uso del vehículo y priorizando al peatón y al uso de la bicicleta, así también se invierten recursos en lo que en promedio representa el 70.00% de la población que se mueve a pie o en transporte público.

Con lo expuesto en las conclusiones, se comprueba que por la valoración de la climatología urbana por modificación antropogénica, se determina la alteración del balance de energía natural de la calidad del hábitat en Tampico, México.

Referencias Bibliográficas

Adrian, Chong Zhun Min; Hien, Wong Nyuk; Marcel, Ignatius; Kardinal, Jusuf Steve. (2013). Predicting the envelope performance of commercial office buildings in Singapore. *Energy and Buildings*. Volumen: 66. 66-76.

- Allegrini, Jonas; Dorer, Viktor; Carmeliet, Jan. (2012). Influence of the urban microclimate in street canyons on the energy demand for space cooling and heating of buildings. *Energy and Buildings*. Volumen: 55. 823-832.
- Anniballe, Roberta; Bonafoni, Stefania; Pichierri, Manuele. (2014). Spatial and temporal trends of the surface and air heat island over Milan using MODIS data. *Remote Sensing of Environment*. Volumen: 150. 163-171.
- Berger, Tania; Amann, Christof; Formayer, Herbert; Korjenic, Azra; Pospichal, Bernhard; Neururer, Christoph; Smutny, Roman. (2014). Impacts of urban location and climate change upon energy demand of office buildings in Vienna, Austria. *Building and Environment*. Volumen: 81. 258-269.
- Buyadi, Siti nor Afzan; Mohd, Wan Mohd Naim Wan; Misni, Alamah. (2013). Green Spaces Growth Impact on the Urban Microclimate. *Asia Pacific International Conference on Environment-Behaviour Studies (AicE-Bs 2013)* London. Volumen: 105. 547-557.
- CONAGUA. (2015). "Climatología de Tampico, México". Comisión Nacional del Agua. Servicio Meteorológico Nacional. Recuperado de <<http://smn.cna.gob.mx>>. [10 de enero de 2015].
- Coseo, Paul; Larsen, Larissa. (2014). How factors of land use/land cover, building configuration, and adjacent heat sources and sinks explain Urban Heat Islands in Chicago. *Landscape and Urban Planning*. Volumen: 125. 117-129.
- Cotana, Franco; Rossi, Federico; Filipponi, Mirko; Coccia, Valentina; Pisello, Anna Laura; Bonamente, Emanuele; Petrozzi, Alessandro; Cavalaglio, Gianluca. (2014). Albedo control as an effective strategy to tackle Global Warming: A case study. *Applied Energy*. Volumen: 130. 641-647.
- Dimoudi, A; Kantzioura, A; Zoras, S; Pallas, C; Kosmopoulos, P. (2013). Investigation of urban microclimate parameters in an urban center. *Energy and Buildings*. Volumen: 64. 1-9.
- Feng, Huihui; Zhao, Xiaofeng; Chen, Feng; Wu, Lichun. (2014). Using land use change trajectories to quantify the effects of urbanization on urban heat island. *Advances in Space Research*. Volumen: 53. 463-473.
- Feyisa, Gudina Legese; Dons, Klaus; Meilby, Henrik. (2014). Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. *Landscape and Urban Planning*. Volumen: 123. 87-95.
- Fuentes Pérez, Carlos Alberto. (2011). Evaluación del comportamiento térmico de la vivienda tradicional y la vivienda común en Tampico, México. Tesis Doctoral. Programa de Doctorado en Arquitectura con Orientación en Vivienda. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Tampico, Tamaulipas. México.
- Fletcher, Julie Ann; Kershaw, Tristan; Mills, Gerald. (2013). Urban form and function as building performance parameters. *Building and Environment*. Volumen: 62. 112-123.
- Gago, EJ; Roldan, J; Pacheco-Torres, R; Ordoñez, J. (2013). The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. Volumen: 25. 749-758.
- 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*. Volumen: 14. 347-358.

Goldberg, Valeri; Kurbjuhn, Cornelia; Bernhofer, Christian. (2013). How relevant is urban planning for the thermal comfort of pedestrians? Numerical case studies in two districts of the City of Dresden (Saxony/Germany). *Meteorologische Zeitschrift*. Volumen: 22. 739-751.

Ho, Hung Chak; Knudby, Anders; Sirovyak, Paul; Xu, Yongming; Hodul, Matus; Henderson, Sarah B. (2014). Mapping maximum urban air temperature on hot summer days. *Remote Sensing of Environment*. Volumen: 154. 38-45.

Kuttler, W. (2010). Urban climate. *Gefahrstoffe Reinhaltung Der Luft*. Volumen: 70. 329-340.

Lee, Jong Soo; Kim, Jeong Tai; Lee, Myung Gi. (2014). Mitigation of urban heat island effect and green roofs. *Indoor and Built Environment*. Volumen: 23. 62-69.

Lee, Sungwon; Lee, Bumsoo. (2014). the influence of urban form on GHG emissions in the US household sector. *Energy Policy*. Volumen: 68. 534-549.

Lenzholzer, Sanda; Brown, Robert D. (2013). Climate-responsive landscape architecture design education. *Journal of Cleaner Production*. Volumen: 61. 89-99.

Millward, Andrew A.; Torchia, Melissa; Laursen, Andrew E.; Rothman, Lorne D. (2014). Vegetation Placement for Summer Built Surface Temperature Moderation in an Urban Microclimate. *Environmental Management*. Volumen: 53. 1043-1057.

NOAA U.S. National Oceanic and Atmospheric. (2015). "2015 The Hottest Ever Year – Another call

to Immediate Climate Action". Recuperado de: <<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/summary-info/global/2014/12>> [15 de junio de 2015].

Oke, T.R. (1976). *Boundary layer climates*. London, Methuen.

Oke, T. R. (2006). Towards better scientific communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology*. Volumen: 84. 179-190.

Pathirana, Assela; Deneke, Hailu B.; Veerbeek, William; Zevenbergen, Chris; Banda, Allan T. (2014). Impact of urban growth-driven landuse change on microclimate and extreme precipitation - A sensitivity study. *Atmospheric Research*. Volumen: 138. 59-72.

Perini, Katia; Magliocco, Adriano. (2014). Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. *Urban Forestry & Urban Greening*. Volumen: 13. 495-506.

Planeta Vivo. (2015). "Constantes vitales en tiempo real. Energía". Recuperado de <<http://www.planeta-vivo.com/energia/el-hemisferio-norte-se-ahoga-en-co2/>>. [18 de enero de 2015].

Radhi, Hassan; Sharples, Stephen. (2013). Quantifying the domestic electricity consumption for air-conditioning due to urban heat islands in hot arid regions. *Applied Energy*. Volumen: 112. 371-380.

Sánchez-González, Diego (2011). Peligrosidad y exposición a los ciclones tropicales en ciudades del Golfo de México. El caso de Tampico, *Revista de Geografía Norte Grande*, Número: 50. 151-170.

Singh, Ram Babu; Grover, Aakriti; Zhan, Jinyan. (2014). Inter-Seasonal Variations of Surface Temper-

ature in the Urbanized Environment of Delhi Using Landsat Thermal Data. *Energies*. Volumen: 7. 1811-1828.

Taylor, J.; Davies, M; Mavrogianni, A; Chalabi, Z; Biddulph, P; Oikonomou, E; Das, P; Jones, B. (2014). The relative importance of input weather data for indoor overheating risk assessment in dwellings. *Building and Environment*. Volumen: 76. 81-91.

Taleb, Dana; Abu-Hijleh, Bassam. (2013). urban heat islands: Potential effect of organic and structured urban configurations on temperature variations in Dubai, UAE. *Renewable Energy*. Volumen: 50. 747-762.

Unger, Janos; Savic, Stevan; Gal, Tamas. (2011). Modelización del patrón anual media de la isla de calor urbano por la planificación del clima urbano de la red de estaciones. *Advances in Meteorology*. DOI: 10.1155/2011/398613.

Vaccari, Francesco Primo; Gioli, Beniamino; toscano, Piero; Perrone, Camilla. (2013). Carbon dioxide balance assessment of the city of Florence (Italy), and implications for urban planning. *Landscape and Urban Planning*. Volumen: 120. 138-146.

Wang, Yupeng; Akbari, Hashem. (2014). Effect of Sky View Factor on Outdoor Temperature and Comfort in Montreal. *Environmental Engineering Science*. Volumen: 31. 272-287.