

Isla de Calor Urbana: Modelación Dinámica y Evaluación de medidas de Mitigación en Ciudades de Clima árido Extremo

Jorge Villanueva-Solis^{(1)*}, Arturo Ranfla⁽¹⁾, Ana L. Quintanilla-Montoya⁽²⁾

(1) Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Bulevar Benito Juárez y la calle de la normal, s/n, CP 21250 Mexicali, B.C.-México (e-mail: jorge.villanueva@uabc.edu.mx)

(2) Universidad de Colima, Ex Hacienda de Nogueras s/n. Nogueras, CP 28451 Comala-México (e-mail: analuzqm@uacol.mx)

Recibido Ago. 03, 2012; Aceptado Sep. 01, 2012; Versión final recibida Dic. 01, 2012

Resumen

El objetivo del trabajo fue determinar el potencial de mitigación de la Isla de Calor Urbana para un sector de la ciudad de Mexicali (Baja California, México). El potencial fue determinado a través del modelado de la estructura urbana, expresado en usos y cobertura del suelo, así como en edificaciones y en las posibilidades de aplicar, estrategias de mitigación. Los resultados obtenidos muestran que bajo la estructura actual de usos del suelo y escenarios de cambio climático local, la mitigación de temperatura puede llegar a ser hasta de 8°C, para el año 2080. Con base en los resultados se concluye que ante las necesidades de adaptación al cambio climático, la modelación dinámica es una herramienta útil y aplicable al proceso de planeación urbana.

Palabras clave: isla de calor urbana, cambio climático, modelación dinámica, planeación urbana

Urban Heat Island: Dynamic Modeling and Mitigation Measures Evaluation, in Extreme arid Climate Cities

Abstract

The objective was to determine the potential mitigation of the Urban Heat Island in a city sector of Mexicali (Baja California, México). The potential was determined through modeling the urban fabric; expressed in land use, land cover, and buildings as well as, the ability to implement mitigation strategies. The results show that under the current land use fabric and local climate change scenarios, the mitigation of temperature can be up to 8 °C., at 2080 year. Based on the results, we conclude that dynamic modeling is a useful and an applicable tool, in the urban planning process of adaptation to climate change.

Keywords: urban heat island, climate change, dynamic modeling, urban planning

INTRODUCCIÓN

La expansión urbana que experimentan las ciudades, está asociada con numerosos problemas ambientales, uno de estos es la Isla de Calor Urbana (ICU). Ésta, está definida como la diferencia de temperatura entre el área urbana y sus alrededores. Asimismo, es el resultado de dos procesos diferentes pero asociados; el primero y más importante, la modificación en la cobertura del suelo como resultado del proceso de urbanización que transforma las superficies con materiales impermeables como el asfalto y el concreto. La segunda, hace referencia a las actividades en la ciudad principalmente el transporte y la industria debido a las emisiones térmicas que contribuyen al calentamiento urbano (Oke, 2009). El tema es cada día más importante debido a la tendencia mundial hacia la urbanización y el crecimiento disperso de las ciudades, así como porque la ICU tiene implicaciones directas en la calidad del aire, la salud pública, la gestión energética y en la planeación urbana. Por ello, esta problemática se ha convertido en uno de los principales desafíos relacionados con el proceso de urbanización, ya que el aumento de la temperatura asociada a la ICU tiende a exacerbar los problemas antes mencionados (Tan, *et. al.*, 2010). Además, de estar ya identificada en los temas centrales cuando se trata la mitigación y/o adaptación ante el cambio climático, desde un enfoque urbano.

En la actualidad, la mayoría de los estudios sobre ICU han tenido lugar en ciudades densamente pobladas, ubicadas en climas templados y subtropicales (Arnfield, 2003). En contraste, las ciudades localizadas en ecosistemas desérticos se han estudiado muy poco (Pearlmutter *et. al.*, 2006). Este tipo de estudios son aún más escasos para los desiertos del Norte de América que tienen condiciones de extrema aridez, con excepción de ciudades como Phoenix y Tucson en los Estados Unidos (Chow, *et. al.*, 2012;; Hawkins *et. al.*, 2004; Baker *et. al.*, 2002; Comrie, 2000); y más recientemente en la ciudad de Mexicali en Baja California, México (Camargo-Bravo y García-Cueto, 2012; García-Cueto *et. al.*, 2009; García-Cueto *et. al.*, 2007). En términos generales, las investigaciones realizadas sobre el tema se han enfocado principalmente a la identificación y análisis del comportamiento térmico dentro de los espacios urbanos, así como al establecimiento de estrategias de mitigación. A este respecto Akbari *et. al.*, (2009) establece como principales estrategias para mitigar los efectos de la ICU, aumentar el albedo en azoteas y pavimentos, y la reforestación urbana.

Sin embargo, el tratar la adaptación-mitigación del fenómeno como parte de un esquema de planeación sustentable de la ciudad, se ha limitado a la identificación de criterios, por lo que resulta pertinente integrar éstos a un esquema dirigido hacia la planeación urbana; objetivo de este estudio. En este sentido, la presente investigación determina el potencial que ofrece la estructura urbana actual de un sector de la ciudad con uso del suelo: industrial, comercio y servicios y habitacional, en vías de implementar estrategias de mitigación frente a la ICU. El método propuesto se desarrolló en un contexto de simulación, y considera la organización espacial actual y la propuesta en la carta de usos del suelo del programa de desarrollo urbano, así como la cobertura del suelo y la tipología de edificación en una ciudad del Norte árido de México.

El Valle de Mexicali, en la península de Baja California (México), está situado en 32° 38' Norte y 115° 20' Oeste, tiene la particularidad de ser una región fronteriza contigua con el Estado de California en los Estados Unidos. Toda la región pertenece a la provincia fisiográfica del sub Delta del Río Colorado en el Desierto de Sonora. Como consecuencia la región tiene un clima muy árido, solo 75 mm de precipitación media anual y condiciones térmicas extremas: temperaturas máximas que han superado los 50°C en los meses de verano y temperaturas mínimas inferiores a 0°C en el invierno.

La ciudad de Mexicali fue fundada a principios del siglo XX sobre una llanura inundable, su fisiografía es prácticamente plana lo cual contribuye a que la transmisión de calor sea muy uniforme. El censo del Instituto de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2010) establece que la ciudad cubre una extensión de 14,890 hectáreas y tiene una población de 689,775 habitantes, lo cual resulta en una densidad de 46 Hab/ha, mostrando una ciudad de expansión horizontal. En cuanto a la estructura del tejido urbano, este se conforma de seis zonas que caracterizan los espacios de la ciudad desde el punto de vista funcional y de ocupación del suelo. La distribución de los usos del suelo es predominantemente habitacional con un 56%, el uso industrial representa el 7% y el comercial y de servicios el 6%, por su parte el uso destinado al equipamiento (en el cual se incluye a las áreas verdes públicas) corresponde al 8% del área urbana, mientras que el destinado a la conservación solo representa el 1%; otro uso importante es el de vialidad e infraestructura que cubre el 15%, y el siete por ciento restante corresponde a usos mixtos (comercio-servicios-industria).

En las últimas tres décadas la ciudad experimentó una explosión demográfica y económica debido al crecimiento de la industria manufacturera, actualmente existen once parques industriales con un total de 1,164 empresas manufactureras cubriendo una superficie de 825 hectáreas, la mayoría de estos parques industriales fueron construidos en la década de 1980 en lo que solía ser campos agrícolas en la periferia de la ciudad. Sin embargo a causa de la expansión de la ciudad en la actualidad gran parte de la industria manufacturera está inmersa en la ciudad, situación que ha provocado que los edificios industriales

contribuyan al aumento de la temperatura tanto por sus características constructivas, como por sus emisiones a la atmósfera (Ramos, 2011; Corona y Rojas, 2009; SPA, 2007).

En contraste, la ciudad cuenta con alrededor de 140 hectáreas de áreas verdes públicas, superficie que representa una dotación de 2.1 m² por habitante, mientras que la normativa nacional establece 10 m² por habitante y la Organización Mundial de la Salud establece 9 m² por habitante, por lo tanto existe un importante déficit (Pena-Salmón y Rojas-Caldelas, 2009). De acuerdo a ello, se puede observar que los efectos de los espacios urbanos de alta emisión térmica se extienden por toda el área urbana. En contraste, espacios de baja emisión térmica o sumideros térmicos, representan una mínima superficie en comparación con el uso de suelo industrial (Figura 1).



Fig. 1: Área de estudio, uso del suelo industrial y áreas verdes en la ciudad.

ESTUDIOS SOBRE LA ISLA DE CALOR URBANA

El primer acercamiento a la ICU de la ciudad se realizó en 1996 a través de un estudio que utilizó imágenes satelitales (NOAA AVHRR), y en el cual se identificaron una serie de islotes de alta emisión térmica que coinciden con la localización de zonas con actividad industrial de comercio y servicios, las cuales constituyen zonas de alto grado de urbanización en la ciudad (Toudert, 1996). Posteriormente García-Cueto *et al.*, (2007) utilizando imágenes NOAA AVHRR y Landsat ETM+, así como mediciones de la temperatura del aire, analizaron tanto la ICU atmosférica como la superficial y su relación con los usos del suelo. Los resultados confirman la existencia de una ICU superficial al comparar la ciudad con sus alrededores, además de identificar importantes contrastes térmicos al interior de la ciudad y el desarrollo de una ICU nocturna. Los mayores contrastes térmicos observados en este estudio son con valores superiores a los 40 °C entre el área urbana y el área agrícola circundante, esto en los meses de julio y agosto. Dos años después García-Cueto *et al.*, (2009) utilizando una base de datos de 1950 al año 2000, realizan un análisis temporal y espacial de la temperatura del aire en el dosel urbano de la ciudad y sus alrededores; en éste estudio quedó de manifiesto la presencia de una masa de aire tibio nocturna en la atmósfera urbana, donde la diferencia máxima entre la ciudad y sus alrededores ocurre en invierno con un valor de 5.7°C.

Los resultados de estas investigaciones sugieren que el proceso de urbanización experimentado en Mexicali ha modificado de manera importante el clima local; por lo observado, se puede inferir que la ciudad genera suficiente calor sensible para elevar la temperatura en su interior, y dado el reducido número de áreas verdes (la cual favorece la evapotranspiración) se favorece la distribución del calor almacenado en las diferentes estructuras de la ciudad, es decir, la causa de la ICU está relacionada con las alteraciones en el balance de energía superficial causado por la urbanización. Además de lo expuesto, estas investigaciones identifican como zonas en las que se intensifica la ICU a una zona comercial cercana a la frontera internacional, así como al corredor industrial al sureste de la ciudad, en el cual cabe destacar se concentra la mayor parte del uso industrial en la ciudad.

Área de análisis en este estudio

Esta investigación se centra en el extremo noroeste del corredor industrial antes mencionado; conformada por una variedad de usos del suelo, el área de estudio cuenta con una superficie de 232.5232 hectáreas,

incluye áreas dedicadas a la industria, el comercio y los servicios, así como a la vivienda (Figura 3 y Tabla 1). Dos vialidades de conexión regional cruzan el área de estudio, paralela a una de ellas se encuentra la única área verde de la zona, otra de las vialidades conecta el oriente con el poniente de la ciudad y el resto son de menor jerarquía y son utilizadas para el tránsito local (Figura 2).



Fig. 2: Imagen aérea del área de estudio.

Tabla 1: Uso del suelo y su potencial en la aplicación de estrategias de mitigación de ICU.

<i>Uso del Suelo</i>	<i>Área (ha)</i>	<i>%</i>	<i>Estrategia de Mitigación</i>	<i>Potencial de Aplicación por Uso (%)</i>	<i>Cobertura de Mitigación (ha)</i>
HABITACIONAL	28.8418	12.4%	Azotea Verde	26%	7.4989
			Azotea Fresca		
EQUIPAMIENTO EDUCATIVO	1.2326	0.5%	Azotea Verde	19%	0.2342
			Azotea Fresca		
			Reforestación	60%	0.7395
INDUSTRIAL	119.0415	51.2%	Azotea Fresca	31%	36.9029
			Reforestación	3%	3.5712
COMERCIAL	41.8188	18.0%	Azotea Fresca	30%	12.5456
MIXTO (Almacenes, Comercial)	11.5532	5.0%	Azotea Fresca	40%	4.6213
			Reforestación	3%	0.3466
INFRAESTRUCTURA (Calle, Canal, Derecho de Vía)	30.0353	12.9%	Reforestación	80%	24.0282
Área de Estudio (ha) =		232.5232	100 %	Área de Aplicación de Estrategias (ha)=	
				90.4885	

La importancia de acotar un área de estudio en esta investigación radica en los siguientes argumentos: a) permite analizar puntualmente una de las zonas identificadas como críticas en el desarrollo de la ICU en la ciudad, b) el área propuesta ofrece una mezcla de usos del suelo que son representativos al resto del corredor industrial, así como de la ciudad, y c) facilita la evaluación e interpretación de resultados obtenidos mediante la aplicación del modelo, lo cual contribuye al conocimiento necesario para ampliar el estudio a escala de ciudad.



Fig. 3: Uso del suelo en el área de estudio.

METODOLOGÍA

Para determinar el potencial de mitigación que ofrece la estructura urbana del área de estudio, fue necesario caracterizar y analizar las condiciones de cobertura y uso del suelo, así como establecer las posibilidades de implementar cada estrategia de mitigación. Con base en lo anterior, son tres las estrategias de mitigación que se utilizaron para esta investigación: Reforestación Urbana, Azoteas Frescas y, Azoteas Verdes. La reforestación urbana contribuye a mitigar la ICU al modificar las condiciones microclimáticas en espacios abiertos al regular la temperatura y humedad, además de mejorar la calidad del aire al capturar el dióxido de carbono (Pena-Salmon y Rojas-Caldelas, 2009; Bochaca y Puliafito, 2009). Las azoteas frescas o reflexivas son aquellas que utilizan materiales que tienen dos importantes propiedades un albedo alto y una emitancia térmica. Ambas estrategias son identificadas por Lynn, *et. al.*, (2009) como las de mayor eficacia para mitigar la ICU. En cuanto a las azoteas verdes, éstas se refieren al tratamiento mediante el cual se crea una superficie vegetal inducida en la cubierta de una edificación, proporcionan sombra y disminuyen la temperatura del aire circundante a través de la evapotranspiración; además de reducir la carga térmica de la edificación.

Un ejemplo de lo anterior son las azoteas convencionales, las cuales tienen una baja reflectancia y baja emitancia térmica, provocando que sus temperaturas oscilen entre los 66°C y 8°C. Por su parte, las azoteas metálicas tienen una alta reflectancia y una emitancia térmica baja, alcanzando temperaturas entre 60°C y 77°C. Mientras que las azoteas con alta reflectancia y emitancia pueden alcanzar temperaturas entre 37°C y 49°C en el verano (Meredith, 2004), ello se traduce en la aseveración establecida anteriormente como una posible solución que no es difícil de llevar a cabo y tiene costos económicos bajos: las azoteas verdes y reflexivas. Más aún, la misma autora menciona que un aumento del albedo en 0.07 en azoteas y pavimentos puede llegar a reducir la temperatura ambiente hasta los 30 °C, enriqueciendo este estudio, las aportaciones de Pomerantz *et. al.*, (2002) estiman, que si la radiación solar absorbida por pavimentos y estacionamientos se reduce de un 90 a un 65%, la temperatura máxima del aire puede reducirse hasta en 18 °C.

Modelación dinámica

La modelación dinámica es una herramienta útil para describir, analizar y evaluar sistemas complejos, ésta ha sido utilizada en diferentes disciplinas de la ciencia entre ellas la planeación urbana. Por definición, los modelos son una simplificación de la realidad, esto es, son una descripción de los aspectos esenciales de un sistema, los cuales representan el conocimiento de ese sistema en una forma utilizable. Esto refleja que

los modelos no incluyen todo y que esta simplificación de la realidad hace que los modelos sean de utilidad (Meadows, 2001).

En el caso de ésta investigación, se utilizó modelación dinámica con la finalidad de simular la aplicación de estrategias de mitigación y sus efectos en el área de estudio. El modelo desarrollado retoma por una parte la aproximación estadística hecha por Akbari *et. al.*, (2009); Akbari *et. al.*, (1999); Akbari y Rose (2001a); Akbari y Rose (2001b). Dicha modelación (Fig. 4) se caracteriza con base en el tipo de superficie, su distribución y su porcentaje en la ciudad, con el fin de estimar el impacto sobre la temperatura y la calidad del aire. Así como lo propuesto por Jusuf y Wong (2009), quienes para predecir la temperatura del aire en la ciudad de Singapur proponen un modelo que relaciona: la temperatura (mínima, promedio y máxima), la radiación solar diaria, el porcentaje de superficies pavimentadas, la altura promedio de construcción, la superficie total de muros, la superficie de área verde, así como el factor de apertura de cielo y el albedo promedio de superficie.

Estos estudios se basan en la composición física del espacio urbano y en su temperatura de superficie. De manera similar el modelo propuesto en esta investigación utilizó la estructura que presenta los usos y cobertura del suelo, su temperatura de superficie, así como el potencial de implementación de estrategias de mitigación. Al igual que los estudios antes mencionados, en ésta investigación se estimó la temperatura de superficie bajo diferentes condiciones de cobertura del suelo de la siguiente manera:

$$T_{\text{vegetación}} \times A_{\text{vegetación}} + T_{\text{pavimento}} \times A_{\text{pavimento}} + T_{\text{azotea}} \times A_{\text{azotea}} + T_{\text{misceláneo}} \times A_{\text{misceláneo}} \quad (1)$$

Dónde: T es la temperatura y A es la fracción de la superficie total. Dado que el perfil de la ICU depende de cómo el aire es calentado por las diferentes superficies que conforman la ciudad, al utilizar recubrimientos o materiales que permitan temperaturas de superficie más bajas, se tendrán efectos significativos en la temperatura de la ciudad.

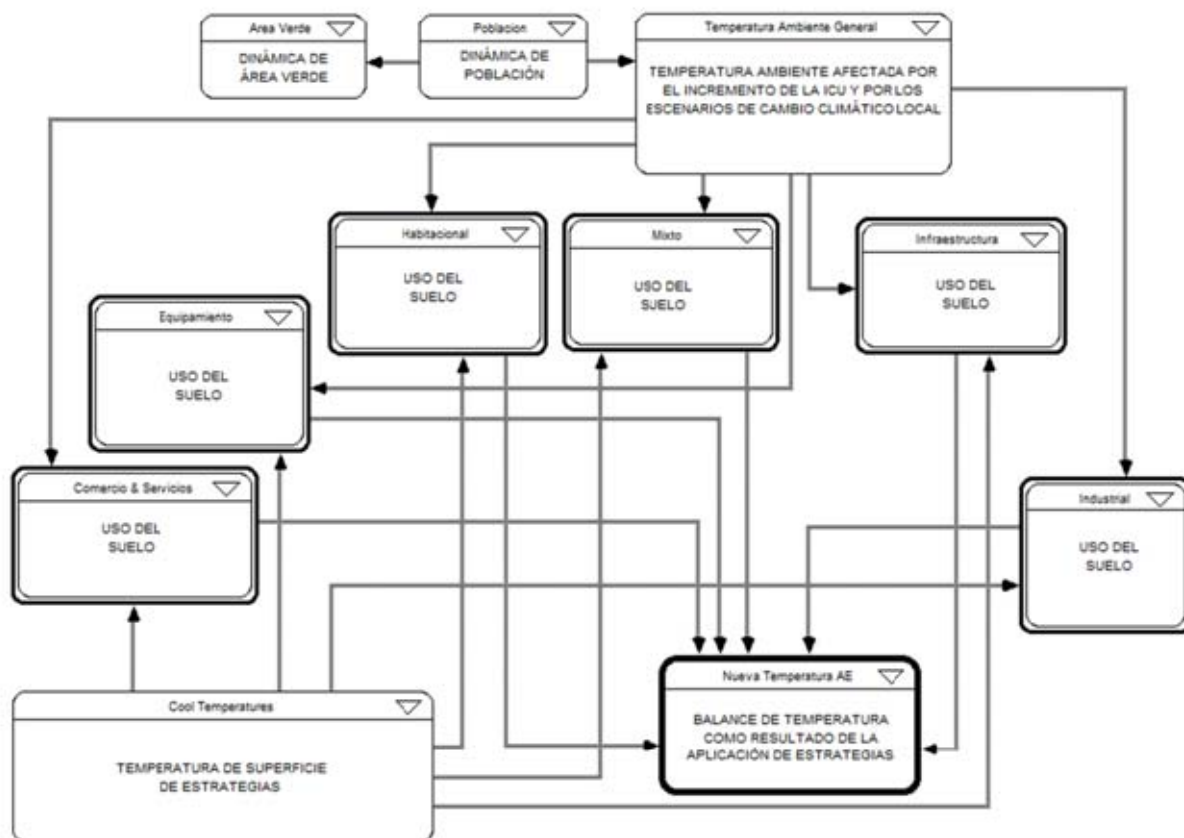


Fig. 4: Estructura general del modelo.

El modelo fue desarrollado en STELLA® con el objetivo de simular el potencial de mitigación de la ICU, a través de la aplicación de estrategias de mitigación. Este se conceptualizó de forma modular, esto es, cada módulo representa las características y dinámica de cada uso del suelo, así como su potencial de mitigación, de tal manera que la integración de varios módulos constituye en este caso la estructura de usos del suelo del área de estudio (Fig. 4). Los elementos principales del modelo son:

Uso y cobertura del suelo.

Estrategias de mitigación ante ICU.

Escenarios de cambio climático local (PEACCCBC, 2010).

Incremento de la temperatura por ICU (Torok, *et. al.*, 2001).

Balance de temperatura, en relación con el uso y cobertura del suelo (enfocado a la implementación de estrategias).

Simulación de escenarios

La construcción de escenarios de mitigación se realizó tanto de manera individual como por combinación de estrategias con el fin de conocer las posibilidades de mitigación y su relación con cada uso del suelo. De manera global se puede decir que solo el 37% del área de estudio tiene potencial para aplicarle alguna de las estrategias de mitigación y que son las azoteas las que ofrecen mayor superficie para la aplicación de estrategias. En cuanto a la simulación de escenarios se realizó a través de la interface de simulación, la cual permite hacer combinaciones entre uso del suelo, estrategia de mitigación y el establecimiento del porcentaje de superficie en la cual se desea aplicar cada estrategia (Fig. 5).

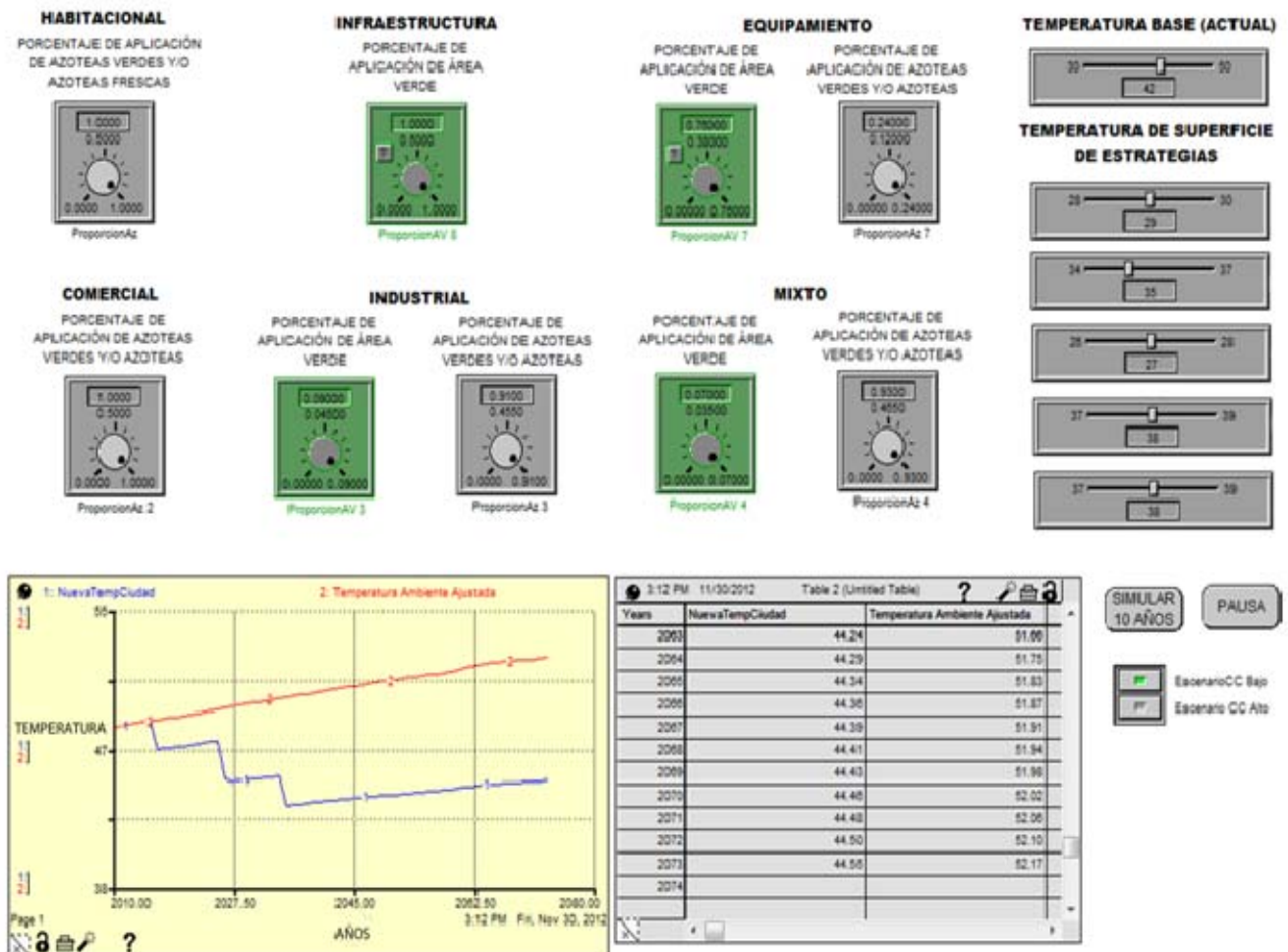


Fig. 5: Interface de simulación en STELLA®.

Los escenarios resultantes muestran una concordancia entre la predicción y la temperatura real de las superficies (Tabla 2). Estos escenarios indican que el diferencial de temperatura puede ser hasta de 8°C, entre la tendencia actual y el potencial de mitigación. Para el caso del área de estudio, son las azoteas verdes y frescas las que ofrecen mayor eficacia en la reducción de temperatura la cual puede llegar a ser hasta de 5.8 °C, sin dejar de lado la contribución de las áreas verdes que además proporciona otros beneficios para el medio ambiente urbano.

Tabla 2: Resultados de la simulación.

Estrategia de Mitigación	Escenario al 2080	
	Continuar la Tendencia	Escenario Fresco
Sin Aplicar Estrategias	52.8 °C	52.8 °C
Sólo Azoteas Verdes	52.8 °C	50.8 °C
Azoteas Verdes y Frescas	52.8 °C	47.0 °C
Azoteas Verdes y Frescas y Reforestación	52.8 °C	44.8 °C

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran, por una parte, la conveniencia de utilizar la modelación dinámica como herramienta para construir escenarios de mitigación de ICU, así como también muestran que en un escenario al año 2080 –el cual incluye el aumento de temperatura por el cambio climático global, y la aplicación de estrategias de mitigación establecidas en esta investigación— pueden llegar a reducir la temperatura en el área de estudio hasta en 8°C. Son las estrategias aplicadas en azoteas las de mayor aporte a la mitigación con 5.8 °C; por su parte la estrategia de reforestación contribuye solo con 2.2 °C. Así mismo, los resultados demuestran que las mayores posibilidades de mitigar la ICU en el área de estudio, son a través de las estrategias enfocadas a las azoteas, debido a que son éstas las que dominan el tejido urbano y sus efectos son prácticamente inmediatos; a diferencia de la reforestación, en la cual es necesario considerar el tiempo de crecimiento del arbolado, además de que son pocos los espacios que han quedado libres en el área de estudio, dentro de los cuales se podría reforestar.

Según lo observado en ésta investigación, los materiales utilizados en la construcción juegan un papel muy importante en lo que se refiere al aumento de la temperatura urbana, por lo tanto, son las estrategias enfocada a modificar las características de las superficies horizontales en la ciudad las que ofrecen mayor potencial de mitigación de la ICU, los resultados indican que a pesar de los beneficios de la reforestación, ésta estrategia debe ser en combinación con las demás, ya sea por el limitado espacio libre para reforestar, o bien por el tiempo de crecimiento de los árboles, además de considerar las condiciones de aridez de la región y las limitantes a los recursos hídricos.

Es importante destacar, que el escenario tendencial de cambio climático local muestra un incremento en la temperatura promedio máxima de verano hasta de 52.8 °C para el año 2080 (Camargo-Bravo y García-Cueto, 2012; PEACCBC, 2010); este aumento intensificará aún más la ICU, por consiguiente se deben considerar las estrategias de mitigación al elaborar políticas de desarrollo urbano y actualizar los diferentes normativas que inciden en los procesos de construcción de la ciudad, como parte de las acciones necesarias ante las medidas de control, mitigación y adaptación al cambio climático.

CONCLUSIONES

El método propuesto para esta investigación se apoyó en la modelación dinámica como herramienta de análisis, la cual resultó ser útil para determinar el potencial de mitigación que ofrece la estructura urbana del área de estudio. Los resultados obtenidos permiten por un lado reconocer la tendencia al aumento de temperatura como resultado de la intensificación de la ICU, así como las posibles estrategias para mitigarla como estrategia de adaptación al CCG .

Este método resultó ser adecuado para identificar, analizar y simular escenarios, que permitan establecer criterios de mitigación de ICU en esquemas de planeación urbana. La estructura del modelo mostró su viabilidad para ser adaptado a la configuración actual y futura de usos del suelo de la ciudad, establecida en el Programa de Desarrollo Urbano, el cual tiene una vigencia hasta el año 2025. En este sentido, el método y los resultados aquí presentados podrán ser utilizados para diseñar parámetros de configuración de usos del suelo y tipología de construcción asociados a estos, contribuyendo así, a la formulación de políticas públicas orientadas hacia el control, mitigación y adaptación al Cambio Climático.

Una ventaja adicional que ofrece el método propuesto, es la posibilidad de redimensionar el modelo e integrar variables complementarias relacionadas con el medio ambiente urbano, lo cual permita identificar mayores relaciones entre la ICU y otras características morfológicas o bien aspectos socioeconómicos, logrando así un marco de investigación adaptable, principalmente a las ciudades ubicadas en zonas áridas extremas; un enfoque integral.

REFERENCIAS

- Akbari, H. Cooling our Communities. A Guidebook on Tree Planting and Light-Colored Surfacing. Lawrence Berkeley National Laboratory. Acceso 10 de Julio (2012) en: <http://escholarship.org/uc/item/98z8p10x> (2009)
- Akbari, H., y L. S. Rose. Characterizing the Fabric of the Urban Environment: A Case Study of Chicago, Illinois. LBNL-49275, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California. (2001a).
- Akbari, H., y L. S. Rose. Characterizing the Fabric of the Urban Environment: A Case Study of Salt Lake City, Utah. LBNL-47851, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California. (2001b).
- Akbari, H., L. S. Rose, y H. Taha. Characterizing the Fabric of the Urban Environment: A Case Study of Sacramento, California. LBNL-44688, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California. (1999).
- Arnfield, J. Two Decades of Urban Climate Research: A Review of Turbulence, Exchanges of Energy and Water and the Urban Heat Island. *Int. J. of Climatology* 23, 1-26 (2003).
- Baker, L., A. J. Brazel, N. Selover, C. Martin, N McIntyri, F. Steiner, A. Nelson y L. Musacchio. Urbanization and Warming of Phoenix (Arizona, USA): Impacts, Feedbacks and Mitigation. *Urban Ecosystems*, Vol. 6, 183-203 (2002).
- Bochaca, F. y E Puliafito. Modeling temperature and humidity variations of urban green areas. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 6 DOI:10.1088/1755-1307/6/3/332013 (2009).
- Camargo-Bravo, Adriana y Garcia-Cueto, Rafael O. Evaluación de dos Modelos de Reducción de Escala en la Generación de Escenarios de Cambio Climático en el Valle de Mexicali en México. *Inf. tecnol.* [online]. Vol.23, n.3, pp. 11-20. ISSN 0718-0764 (2012).
- Chow, Winston T. L., Dean Brennan, y Anthony J. Brazel. Urban Heat Island Research in Phoenix, Arizona: Theoretical Contributions and Policy Applications. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 517-530. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00011.1> (2012).
- Comrie, Andrew C. Mapping a Wind-Modified Urban Heat Island in Tucson, Arizona (with Comments on Integrating Research and Undergraduate Learning). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 81, 2417-2431 (2000).
- Corona, Elva e Imelda Rojas. Calidad del aire y su incorporación en la planeación urbana: Mexicali, Baja California, México. *Estudios Fronterizos, UABC, Mexicali*, vol. 10, núm. 20, 79-102 (2009).
- Garcia Cueto R. O., E. Jáureguio O., D. Toudert y A. Tejeda-Martínez. Detection of the urban heat island in Mexicali B.C., Mexico and its relationship with land use. *Atmósfera* 20(2), 111-131 (2007).
- Garcia Cueto R. O., Tejeda M. A. y Bojórquez M. G. Urbanization effects upon the air temperature in Mexicali, B. C., México. *Atmosphere* 22(4), 349-365 (2009).
- Hawkins, T. W., A. J. Brazel, W. L. Stefanov, W. Bigler, E. M. Saffell. The role of rural variability in urban heat island determination for Phoenix, Arizona. *J. Applied Meteorology*, 43, 476-486. (2004).
- INEGI. Censo de población y vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. <http://www.censo2010.org.mx/> Acceso: 29 de Junio (2012).
- Jianguo Tan, Y. Zheng, X. Tang, C. Guo, L. Li, G. Song, X. Zhen, D. Yuan, A. J. Kalkstein, F. Li y H. Chen. The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *Int J Biometeorol*, 54:75-84. DOI 10.1007/s00484-009-0256-x (2010).
- Jusuf, S.K. y N.H. Wong. Development of empirical models for an estate level air temperature prediction in Singapore. Second International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands. 21 al 23 Septiembre. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California (2009).
- Lynn, Barry H., Toby N. Carlson, Cynthia Rosenzweig, Richard Goldberg, Leonard Druyan, Jennifer Cox, Stuart Gaffin, Lily Parshall, y Kevin Civerolo. A Modification to the NOAA LSM to Simulate Heat Mitigation Strategies in the New York City Metropolitan Area. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 48, 199-216. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2008JAMC1774.1> (2009).

- Meadows, D. L. Tools for understanding the limits to growth: Comparing a simulation and a game. *Simulation & Gaming*, 32, 4, 522-536 (2001).
- Meredith H. A. Designing with climate: Using parking lots to mitigate urban climate. Tesis de maestría en arquitectura del paisaje. Departamento de paisaje y estudios urbanos. Universidad Estatal y el Instituto Politécnico de Virginia. Estados Unidos (2004).
- Oke, T. R. *Boundary layer climates: Second edition*. 2. New York, NY: Routledge. ISBN: 978-0-415-04319-9, (2009).
- Pearlmutter D., Berliner P. y Shaviv E. Current research and challenges in urban climate research in arid regions. Plenary address in: Grimmond S. and Lindqvist S. (Eds.) *Proceedings of ICUC6 - 6th International Conference on Urban Climate*. Goteborg, Suecia, 12 al 16 Junio, 28-31 (2006).
- Pena-Salmon C. A. y Rojas-Caldelas R. I., *Methodology for planning urban green areas: the case of Mexicali, Baja California, México*. *Sustainable Development and Planning IV*, Vol. 1 (33) DOI: 10.2495/SDP090041 (2009).
- Programa Estatal de Acción ante Cambio Climático para Baja California (PEACCBC). *Escenarios Climáticos Locales*. <http://peac-bc.cicese.mx/> (2010). Acceso 26 de Junio (2012).
- Pomerantz, M., B. Pon, H. Akbari, y S.-C. Chang. The effect of pavements' temperatures on air temperatures in large cities. *Lawrence Berkeley National Laboratory Report LBNL-43442*, Berkeley, CA. (2002).
- Ramos G. José M. *Gestión estratégica ambiental del aire en la frontera Mexicali-Imperial*. *Estudios Fronterizos*, UABC, Mexicali. Vol. 12, Núm. 24, 35-73 (2011).
- Secretaría de Protección al Ambiente del Estado de Baja California (SPA). *Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Baja California 2007*. Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente. http://www2.ine.gob.mx/sistemas/peacc/descargas/bc_igei_2005_vf.pdf Acceso: 29 Junio (2012).
- Torok, S.J., Morris, C.J.G., Skinner, C. y Plummer, N. Urban heat island features of southeast Australian towns. *Australian Meteorological Magazine* 50:1, 1-13 (2001).
- Toudert, D., *La Articulación Urbana con el Clima Intraregional y el Estudio de las Islas de Calor en la Ciudad de Mexicali*. *Revista Calafia* Vol. VIII, No. 4, 29-35 (1996).