

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOCIALES
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN PLANEACIÓN Y DESARROLLO SUSTENTABLE



**Adaptación y mitigación de la isla de calor urbana y la planeación urbana
sustentable, el caso de Mexicali, B.C.**

T E S I S

Que para obtener el grado de

DOCTOR EN PLANEACIÓN Y DESARROLLO SUSTENTABLE

Presenta

JORGE VILLANUEVA SOLIS

Directores de Tesis

DR. ARTURO RANFLA GONZÁLEZ
DRA. ANA LUZ QUINTANILLA MONTOYA

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

ABRIL DEL 2015

RESUMEN

Las derivaciones del cambio climático sobre las ciudades y sus actividades dependen de su capacidad de adaptación y mitigación. En este sentido, desde hace tiempo se reconoce la influencia que tienen las áreas urbanas sobre su propio clima, el cual es típicamente más caliente que sus alrededores no urbanos. Este fenómeno denominado isla de calor urbana (ICU) tiene repercusiones en la calidad del aire, la demanda de agua, de energía, entre otros más.

Desde el cuarto informe de evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) señala la necesidad de que los centros urbanos dediquen esfuerzos a la adaptación para reducir los riesgos de los impactos del cambio climático. El mismo organismo considera a la planeación urbana como herramienta para buscar tal fin. Sin embargo, también reconoce que la escala actual de los modelos climáticos no ofrece una representación de las zonas urbanas, motivo por el cual las proyecciones climáticas tienden a subestimar las temperaturas en zonas urbanas.

La presente investigación diseña estrategias de mitigación ante la ICU y las incorpora al proceso de planeación urbana de la ciudad de Mexicali, B.C. Su objetivo es determinar el potencial de mitigación actual y de adaptación futura a través de simulación; dicho potencial se define mediante el modelado de la estructura urbana, expresado en usos y cobertura del suelo, tipologías de edificación y por las posibilidades de aplicar las estrategias como respuesta de mitigación y adaptación.

Los resultados obtenidos muestran la conveniencia de utilizar la modelación dinámica como una herramienta aplicada a la planeación urbana con enfoque hacia la mitigación y adaptación del cambio climático global. En relación a la aplicación de estrategias de mitigación-adaptación, los resultados revelan que la mayor eficacia se obtiene al aplicarlas de manera global, de lo contrario, sólo se obtendrían resultados parciales o sectorizados en la ciudad; en términos generales son el uso habitacional y el de equipamiento los que mayor pueden contribuir a mitigar la problemática.

Más aún, los resultados contribuyen al establecimiento de políticas públicas sobre uso del suelo y edificación; asimismo ofrece aportaciones para evaluar la vulnerabilidad climática de la ciudad coadyuvando al proceso de adaptación ante cambio climático en ciudades con clima árido extremo.

ABSTRACT

The derivations of climate change on cities and their activities depend on their capacity for adaptation and mitigation. In this sense, it has long recognized the influence of cities on their own climate, which is typically warmer than the surrounding. This phenomenon called urban heat island (UHI) has a number of impacts on air quality, water demand, energy, including more.

Since the fourth IPCC assessment report indicates the need for urban centers devoted to adaptation efforts to reduce the risks of direct and indirect impacts of climate change. The same organization recognizes the urban planning as a tool to seek such order. However, it also recognizes that the current scale of climate models not provide a representation of urban areas.

This research designs mitigation strategies for UHI and incorporates to the process of urban planning of the city of Mexicali, B.C. Its aim is determine the mitigation potential through simulated UHI implementing mitigation strategies, this potential is defined through the urban structure modeling, expressed in land use and land cover, buildings types and by the applicability strategies as an adaptive response and mitigation.

The results show the convenience of using dynamic modeling as a tool applied to urban planning with focus on adaptation and mitigation of climate change. Related to the implementation of mitigation and adaptation strategies, the results show that the highest efficiency is obtained when applies citywide otherwise only partial results are obtained; generally it is the residential use and public services that can help to alleviate most problems.

Moreover, the results contribute to the establishment of public policies on land use and construction; also provides inputs for assessing climate vulnerability of the city thus contributing to the process of adaptation to climate change in cities with arid climate extreme.

Palabras clave: *isla de calor urbana, modelación dinámica, planeación urbana*

Key words: *urban heat island, dynamic modeling, urban planning*

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Baja California por la beca que me exentó de los pagos de inscripción y colegiatura. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico durante mis estudios de doctorado.

A mis maestros del programa de doctorado, a mis directores, el Dr. Arturo Ranfla González (UABC) y la Dra. Ana Luz Quintanilla Montoya (Universidad de Colima) quienes me guiaron y animaron a concluir este trabajo; de igual manera a mis lectores internos, la Dra. Rosa Imelda Rojas Caldelas, el Dr. Cesar Peña Salmón y al Dr. Osvaldo Leyva Camacho.

A mi familia por su comprensión y apoyo durante todo este tiempo, y por supuesto a mis padres, que siempre me impulsaron para salir adelante.

Dedicada a mis hijos, Jorge y Alma Gabriela

“En la medida en que las leyes de las matemáticas se refieren a la realidad, no son ciertas. Y en la medida en que son ciertas, no se refieren a la realidad”.

Albert Einstein.

“En medida que aprendo meteorología, desaprendo matemáticas”.

Edward N. Lorenz.

Contenido

	Página
Resumen	I
Contenido	VI
Índice de figuras	VII
Índice de tablas	VIII
Introducción	1
Capítulo 1. Marco teórico-conceptual.	6
1.1 Coevolución y Sustentabilidad.	8
1.2 El paradigma del desarrollo sustentable.	10
1.3 Cambio climático.	14
1.4 Mitigación y adaptación.	19
1.5 La planeación urbana como instrumento clave.	22
1.6 Isla de calor urbana (ICU).	24
1.7 Medición de la ICU.	27
1.8 Mitigación y adaptación ante ICU.	28
1.9 La necesidad de un enfoque de modelado de la ICU con aplicación en la planeación urbana.	29
Capítulo 2. Antecedentes.	31
2.1 Características climatológicas relevantes del valle de Mexicali.	31
2.2 Antecedentes urbanos y de planeación.	31
2.3 Dinámica de ocupación (expansión) de la ciudad.	34
2.4 Características urbanas.	36
2.5 Uso del suelo.	37
2.6 Áreas verdes.	39
2.7 Escenario de planeación y reserva territorial.	40
Capítulo 3. Marco metodológico.	43
3.1 Teledetección y sistemas de información geográfica (SIG).	46
3.2 Caracterización de cobertura del suelo.	47
3.3 Temperatura de superficie y análisis de área verde.	47
3.4 Potencial de mitigación.	48
3.5 Modelación dinámica como instrumento de análisis.	48
3.6 Evaluación de la estrategia de desarrollo urbano propuesta en el PDUCP.	52
3.7 Criterios de adaptación orientados a la planeación urbana basada en uso del suelo.	53
Capítulo 4. Caracterización y análisis del espacio urbano.	54
4.1 Usos y cobertura del suelo.	56
4.2 Áreas verdes.	60
4.3 Potencial de mitigación.	62
4.4 Morfología urbana y su relación con la ICU.	63

Capítulo 5. Construcción de escenarios y modelación dinámica.	66
5.1 Modelo de desarrollo urbano, mitigación y adaptación de la ICU.	67
5.2 Construcción de escenarios de mitigación-adaptación.	71
5.3 Comportamiento del modelo.	73
Capítulo 6. Resultados y conclusiones.	77
6.1 Resultados.	78
6.2 Planeación urbana, mitigación y adaptación ante la ICU.	86
6.3 Integración de los resultados al proceso de planeación.	88
6.4 Discusión.	90
6.5 Conclusiones.	93
6.6 Recomendaciones finales.	95
Bibliografía.	97

Índice de figuras

	Página
Figura 1. La coevolución del subsistema urbano con los sistemas ecológico y socioeconómico.	10
Figura 2. Pasos iterativos en la adaptación planificada ante el cambio climático.	21
Figura 3. Representación esquemática de los componentes principales de la atmósfera urbana.	24
Figura 4. Perfil de la isla urbana de calor.	25
Figura 5. Traza original de Mexicali y cambios en el río Nuevo y el ferrocarril por inundación.	32
Figura 6. Estepas de crecimiento de la ciudad.	36
Figura 7. Carta de usos de suelo PDUCP 2025.	38
Figura 8. Marco metodológico.	45
Figura 9. Estructura general del modelo.	51
Figura 10. Conformación de la ICU.	54
Figura 11. Rangos de temperatura superficial.	55
Figura 12. Estructura urbana propuesta y usos del suelo.	57
Figura 13. Clasificación supervisada de cobertura del suelo.	59
Figura 14. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).	60
Figura 15. Comparación de resultados entre caracterización supervisada y NDVI.	61
Figura 16. Escenario tendencial de crecimiento urbano y temperatura.	64
Figura 17. Perímetros de consolidación urbana.	61
Figura 18. Perímetro de consolidación urbana y baldíos interurbanos.	70
Figura 19. Interface de simulación en STELLA®.	72
Figura 20. Relación población-temperatura ambiente.	74
Figura 21. Comportamiento área verde.	75
Figura 22. Comportamiento de la temperatura de mitigación-adaptación por uso del suelo.	76
Figura 23. Potencial de mitigación-adaptación por uso del suelo.	79
Figura 24. Potencial agrupado de mitigación-adaptación por uso del suelo.	80
Figura 25. Relación expansión urbana con superficie potencial.	81

Figura 26. Relación temporal de aplicación de estrategias.	82
Figura 27. Relación expansión urbana y temperatura de mitigación-adaptación.	82
Figura 28. Mitigación-adaptación a través del uso del suelo habitacional.	83
Figura 29. Mitigación-adaptación a través del uso del suelo industrial.	84
Figura 30. Mitigación-adaptación a través del uso del suelo equipamiento.	85
Figura 31. Mitigación-adaptación a través del uso del suelo comercio y servicios.	85
Figura 32. Mitigación-adaptación a través del uso del suelo mixto.	86
Figura 33. Potencial de estrategia de azoteas por uso del suelo al 2030.	88
Figura 34. Potencial de estrategia de pavimentos por uso del suelo al 2030.	89
Figura 35. Potencial de estrategia de área verde por uso del suelo al 2030.	90

Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de adaptación al cambio climático.	20
Tabla 2. Dinámica de ocupación de Mexicali.	34
Tabla 3. Usos de Suelo PDUCP 2025.	37
Tabla 4. Áreas verdes públicas PDUCP 2025.	39
Tabla 5. Potencial de mitigación por uso del suelo.	41
Tabla 6. Rangos de temperatura de superficie.	56
Tabla 7. Usos del suelo y reserva territorial 2025.	58
Tabla 8. Escenario de expansión urbana por uso al 2025.	58
Tabla 9. Características de cobertura del suelo.	59
Tabla 10. NDVI y cobertura por uso del suelo.	61
Tabla 11. Potencial de mitigación por uso del suelo.	62
Tabla 12. Escenario de mitigación-adaptación con base en usos del suelo.	71
Tabla 13. Escenario de mitigación-adaptación con base en estrategias.	72

Introducción

La expansión urbana que experimentan las ciudades, está asociada con numerosos problemas ambientales, uno de estos es la isla de calor urbana (ICU). Definida como la diferencia de temperatura entre el área urbana y sus alrededores, la ICU 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. El segundo, 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, además 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, ésta identificada en los temas centrales cuando se trata la mitigación y/o adaptación ante el cambio climático, desde un enfoque urbano.

Los efectos de la ICU y su relación con el cambio climático evidentemente requieren mayor investigación (Quereda, *et al.*, 2009). Sin embargo, son varios los factores que lo han inhibido, incluidos: la complejidad del medio ambiente urbano, su balance de masa y energía, la cobertura y usos del suelo, la falta de datos de temperatura en las ciudades y, sobre todo, la falta de un marco teórico claro (Oke, 1982). Sin embargo, con la disponibilidad actual de datos obtenidos por teledetección se superan algunas de estas dificultades. De hecho, a través de teledetección se puede estimar las distintas temperaturas de superficie y clasificar coberturas y usos del suelo. Con imágenes térmicas se pueden obtener datos de temperatura del espacio urbano sincronizadas con la red de estaciones de monitoreo de la ciudad y a nivel de edificación conocer las diferencias distintivas en una zona de la ciudad (Nichol, 1996).

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 Las Vegas, Phoenix y Tucson en los Estados Unidos (Haroon, *et al.*, 2013; Chow, *et al.*, 2012; City of Las Vegas, 2010; Hawkins, *et al.*, 2004; Baker, *et al.*, 2003; Comrie, 2000); y más recientemente en la ciudad de Mexicali en Baja California, México (Camargo-Bravo y García-Cueto, 2012; García, 2011; 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. Sin embargo, el tratar la mitigación y/o adaptación del fenómeno como parte de un esquema de planeación sustentable de la ciudad, se ha limitado a la identificación de criterios (estrategias), por lo que resulta pertinente integrarlos a un esquema dirigido hacia la planeación urbana.

El primer acercamiento a la ICU en la ciudad de Mexicali se realizó en 1996 a través de un estudio que utilizó imágenes satelitales tipo 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, realizaron un análisis temporal y espacial de la temperatura del aire en el dosel urbano de la ciudad y sus alrededores; en este 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 claramente 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 (las cuales favorecen la evapotranspiración), se fomenta 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.

Cabe señalar que a diferencia de otras ciudades donde el centro urbano o distrito comercial es el que presenta un mayor impacto por la ICU, en Mexicali coincide con la dispersión de los usos del suelo destinados a la industria, el comercio y los servicios; por ende, en las respectivas actividades económicas dispersas en la ciudad. Por otra parte, los impactos ocasionados por la ICU en la ciudad aún no han sido evaluados, más aún, dados los escenarios regionales de cambio climático y los de Mexicali en específico, en los cuales se establece un aumento de la temperatura y de las olas de calor, y con ello, las tendencias a intensificar la ICU en la ciudad como consecuencia de la expansión del área urbana así como las actividades antropogénicas.

Considerando lo expuesto hasta ahora, se advierte por una parte la importancia de los impactos que ocasiona la ICU en la ciudad, por otra, que a través de instrumentos como la planeación urbana se puede hacer frente a esta problemática; sin embargo los procesos actuales de planeación y gestión de la ciudad no consideran a la ICU como un problema a resolver. Por tal motivo, el objetivo general de esta investigación, se orienta a definir las posibilidades de integrar el tema de mitigación y adaptación de la ICU como parte del proceso de planeación urbana, a través de analizar el potencial que ofrece la estructura urbana actual y futura para implementar las estrategias de mitigación referidas en la literatura especializada.

Así, la hipótesis de la investigación supone que, al incorporar las estrategias de mitigación de la ICU al uso del suelo y después construir y analizar escenarios de mitigación-adaptación a través de modelación dinámica, se permitirá por una parte integrar el tema de la ICU al proceso de planeación urbana y por otra, aportar elementos para el desarrollo de políticas públicas sobre uso del suelo y edificación.

En torno a la hipótesis anterior, simular la estructura urbana actual y futura propuesta en la estrategia de desarrollo urbano del Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Mexicali 2025 (PDUCP), en conjunto con la construcción de escenarios de mitigación-adaptación, permite evaluar la eficacia de cada estrategia de mitigación en un escenario al año

2030, contribuyendo al establecimiento de lineamientos de planeación urbana dirigidos a reducir el impacto de la ICU en la ciudad; específicamente en la investigación:

- Se desarrolló un enfoque teórico de planeación urbana sustentable para zonas con clima árido extremo, orientado a la adaptación de cambio climático a través de la mitigación-adaptación de la ICU.
- Se analizó el perfil de la ICU a través de la caracterización de la temperatura de superficie y su relación con la estructura urbana actual.
- Se analizó la tendencia de la ICU con base a la estructura urbana propuesta del PDUCP y sus posibilidades de mitigación-adaptación al año 2030.
- Se determinaron los criterios de utilización de las estrategias de mitigación y su incorporación al esquema de planeación urbana.
- Se construyeron y simuló escenarios de mitigación-adaptación al 2030 bajo dos características: por uso del suelo y por tipo de estrategia de mitigación.

Por lo tanto, los resultados de la investigación se traducen en una herramienta que registra, simula y evalúa el comportamiento y tendencias de la ICU y su posible mitigación con relación a la estructura urbana actual y futura de la ciudad, derivando de ello, criterios de utilización de estrategias de mitigación-adaptación como insumo al proceso de planeación urbana de la ciudad.

Así, la presente investigación además de ofrecer un marco teórico para abordar parte de la problemática del cambio climático a escala urbana, ofrece un método de análisis que puede ser incorporado al proceso de planeación urbana. En este sentido, la investigación es novedosa primeramente por la conjugación de métodos y herramientas para el análisis de la ICU, también por un abrir acceso al problema del cambio climático desde una perspectiva urbana y con elementos urbanos para su análisis, lo cual ubica a la investigación en el área de aplicación.

Para el desarrollo de dichos alcances, esta tesis se organiza de la siguiente manera: el primer capítulo lo constituye el Marco teórico-conceptual, en el cual además de incluir los conceptos básicos sobre la ICU y su relación con los usos y cobertura del suelo, la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG), se abordan los paradigmas de coevolución, sustentabilidad y cambio climático. En el segundo capítulo se establecen los antecedentes del tema a nivel local, estos incluyen desde las condiciones climáticas, el desarrollo y estudio de la ICU, así como las características urbanas y de planeación.

En el capítulo tres se presenta el Marco Metodológico el cual se compone básicamente de tres partes: la primera hace referencia a la utilización de teledetección y sistemas de información

geográfica; la segunda al modelado dinámico y construcción de escenarios y por último, la evaluación de criterios de planeación urbana.

En el cuarto capítulo se expone la caracterización y análisis del espacio urbano a través del uso de teledetección y sistema de información geográfica (SIG). En el capítulo cinco se desarrollan los escenarios de mitigación-adaptación y sus criterios de modelación. Por último, en el capítulo seis, se presentan los resultados de la simulación y las conclusiones de la investigación.

En resumen, en esta tesis se examina el fenómeno de la ICU, su relación con la estructura urbana actual y las estrategias para mitigar y adaptar el espacio urbano. Para ello se explora a través de modelación dinámica la construcción de escenarios de mitigación y adaptación. Por último, se ilustran las aplicaciones de este enfoque como herramienta de análisis en el proceso de planeación urbana.

Capítulo 1. Marco teórico-conceptual

En este capítulo se conceptualizan los términos clave para el desarrollo de esta tesis, tales como: coevolución, sustentabilidad, cambio climático: mitigación, adaptación e isla de calor urbana, y su integración al proceso de planeación de la ciudad.

Son los enfoques científicos de la segunda mitad del siglo XX donde la relación ser humano y medio ambiente —en todas sus formas— gana importancia; además de ser la época en la cual surge el concepto de desarrollo sustentable, mismo que se ha venido fortaleciendo a través de una serie de crisis ecológicas, económicas y sociales. En la actualidad, más de la mitad de la población mundial vive en áreas urbanas por lo que las ciudades se han convertido en un tema recurrente de investigación; son diversas las temáticas que envuelven el estudio de la ciudad, una de ellas es el cambio climático y cómo las ciudades deben adaptarse para hacer frente a estos cambios. Las preguntas ahora son: ¿cómo analizar los procesos urbanos y sus relaciones con el sistema climático? y ¿cómo los resultados obtenidos de los diferentes análisis pueden ser convertidos en estrategias que contribuyan a la adaptación a nivel ciudad?

En este sentido, utilizar la ciudad como nivel de análisis requiere primeramente su definición y luego la aplicación de herramientas conceptuales que definan sus dimensiones y función dentro de la jerarquía espacial urbana. A partir de esto, la ciudad como organización social compleja se reduce en partes más manejables para comprender lo que este nivel de análisis puede proporcionar (Andranovich y Riposa, 1993).

Una de las dificultades en la definición de la ciudad es que no existe una clasificación exclusiva, sino que sugiere una red interconectada de atributos ambientales, sociales, políticos, y económicos (Herson y Bolland, 1990). Las ciudades resultan ser centros de actividad cultural, económica y social; además de ser lugares de gobierno y administración. Motivo por el cual la investigación urbana a menudo requiere hacer referencia a diferentes perspectivas disciplinarias y métodos para abordar los diversos fenómenos urbanos. Por tanto, se puede decir que la investigación urbana es multipragmática, es decir, existen diferentes marcos de referencia que se pueden utilizar para analizar los fenómenos o procesos urbanos y explicar los resultados (Andranovich y Riposa, 1993).

En este sentido una de las teorías que en los últimos años ha ofrecido un enfoque multipragmático y permite abordar la ciudad y su relación con el medio ambiente es la teoría de

la coevolución. Es a partir de la publicación de Richard B. Norgaard “Development Betrayed” en 1994, que un gran número de trabajos han utilizado la teoría de la coevolución para realizar una amplia gama de temas dentro de la relación de los sistemas socioeconómicos y ecológicos (Kallis, 2007). La idea de que las personas desarrollan su sistema económico y social como una adaptación al sistema ecológico circundante es ampliamente reconocida (Saifi y Drake, 2008).

Sin embargo, este pensamiento no es nuevo; todo inició con el trabajo de Ehrlich y Raven en 1964 sobre la coevolución entre plantas y animales, lo que generó un gran interés por los estudios de las interacciones biológicas buscando sus posibles historias evolutivas. De este trabajo se puede extraer como definición de coevolución: “la evolución conjunta de dos o más grupos de organismos que tienen relaciones ecológicas estrechas, sin intercambio de genes, y cuyas presiones selectivas operan recíprocamente originando con esto que la evolución de cada organismo sea dependiente del otro” (Oyama, 1986).

De regreso con el concepto de coevolución, Norgaard sostiene que es un proceso de cambio ajustado entre prácticas, valores y el entorno biofísico. Los seres humanos cambian su ambiente tanto en lo material como en lo cognitivo, y a su vez los nuevos entornos cambian las prácticas e ideas humanas. Por lo que un cambio coevolutivo es dependiente de la trayectoria, la cual pone en evidencia la historia, la tecnología, las instituciones y los ambientes (naturales y humanos), y explica por qué es tan difícil escapar de las prácticas no sustentables. Sin embargo, la coevolución incluye la generación de nueva variación y por lo tanto, la omnipresencia de las alternativas y oportunidades a largo plazo, con las cuales se rompen las dependencias adquiridas, y con la nueva diversidad y el aprendizaje de adaptación y estrategias evolutivas, se desafían las políticas monolíticas no diversas del Estado o del mercado (Kallis, 2007).

En otras palabras, este paradigma afirma que los sistemas ecológicos determinan los subsistemas de la sociedad: conocimiento, valor, tecnología y organización. A su vez, estos subsistemas determinan la evolución de los sistemas ecológicos. Para ambos sistemas, el desarrollo tiene sus raíces en los principios biológicos de mutación (la experimentación en el sistema social) y la selección (Saifi y Drake, 2008).

Es por eso que las ideas teóricas sobre la coevolución de los sistemas económico y ambiental se producen, primero: como consecuencia de la incapacidad de los modelos neoclásicos para analizar interacciones complejas y, segundo: por la necesidad de tratar temas que

inevitablemente exigen visiones interdisciplinarias. De hecho, el surgimiento del pensamiento coevolutivo durante la década de 1980, coincide con el aumento de la preocupación por la sustentabilidad social y ambiental (Norgaard y Kallis, 2011).

Como se puede observar, abordar los fenómenos de la ciudad desde un enfoque coevolutivo constituye interacciones complejas entre los sistemas que inciden en la ciudad. Dicha característica que tiende a crecer al aumentar las relaciones de unos con otros, al generar nuevos niveles de realidad. Tales percepciones exigen construir conocimientos con una dinámica que permita comprender dicha complejidad, coordinados por un nuevo método que participe en ese conjunto de interacciones (Ritter, *et al.*, 2002).

Por lo que, a estas alturas, debe resultar obvio que es imposible establecer recomendaciones de política ambiental que emanen de un modelo de desarrollo simple, que pretenda universalizar relaciones causa-efecto entre política y desarrollo. Por ello, resulta imprescindible adoptar enfoques de análisis que contemplen todas las dimensiones del proceso de cambio (marco institucional y legislativo, situación de la industria tecnológica y de construcción, barreras al acceso de la energía renovable, problemas con la administración y otros entes locales, oposición popular, riesgo, incertidumbre, etc.), y que integren las políticas en un modelo sistémico-coevolutivo que permita sustentar su estudio identificando y explorando las fuerzas dinámicas que determinan el logro de sus objetivos (Gual, 2006).

1.1 Coevolución y Sustentabilidad

Transitar hacia un desarrollo sustentable es uno de los principales retos que enfrentan las sociedades hoy en día. Sin embargo, no es un reto nuevo ya que a lo largo de la historia, las sociedades se han enfrentado a la necesidad de vivir dentro de las limitaciones que les impone su medio ambiente.

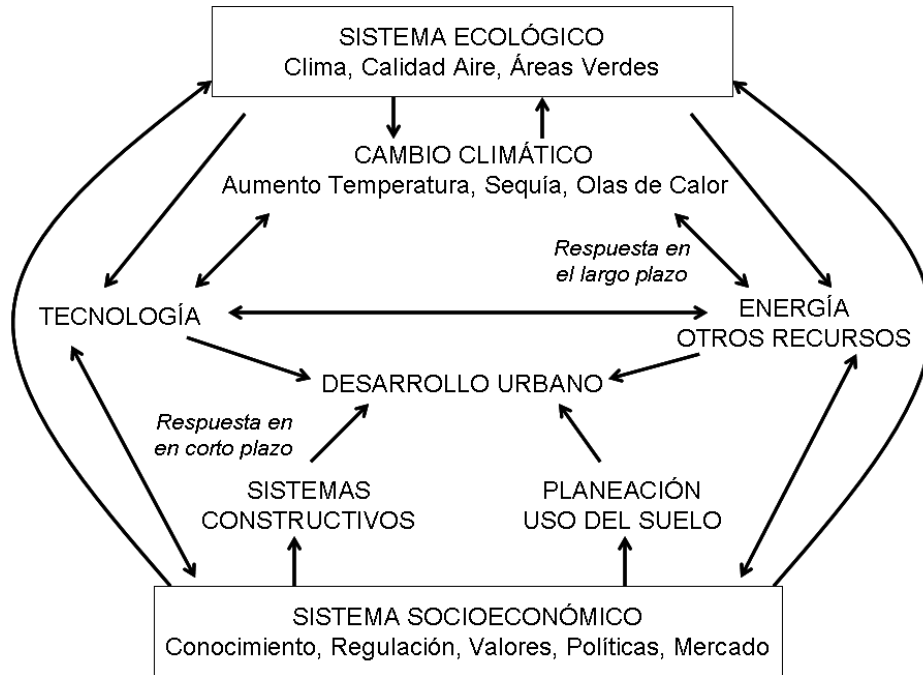
En este sentido Saifi (2004) afirma que: un modelo de desarrollo coevolutivo proporciona un amplio marco para comprender a una sociedad sustentable y a los sectores sustentables de esa sociedad. Sin embargo, a pesar de que ofrece una percepción importante de la sustentabilidad, no es suficiente por sí solo para promoverla en un sector determinado, ya que cada sector tiene sus propios elementos o rasgos específicos sobre los aspectos: ecológicos, tecnológicos, de conocimiento organizacional, y sus sistemas de valores. Y agrega, por lo tanto comprender y

promover la sustentabilidad requiere la construcción de un modelo basado específicamente para cada sector en cuestión; este modelo también debe proporcionar el conocimiento sobre los principios de sustentabilidad y debe buscar incluir los diversos factores que lo componen y los procesos a corto y largo plazo que lo afectan (desarrollo tecnológico, valores, energía y la utilización de otros recursos).

Desde esta perspectiva, se puede observar al desarrollo urbano de dos formas, la primera: como una respuesta adaptativa a los cambios en el medio ambiente, la economía y la sociedad; y la segunda: como fuente de cambios en lo ambiental, lo económico, lo social y cultural. Esto implica claramente que al abordar la sustentabilidad en la ciudad se tienen que entender los procesos de coevolución. Por consiguiente, la construcción de un modelo de mitigación-adaptación de la isla urbana de calor, no sólo ayudará a entender el problema, también proporcionará directrices para comprender otros aspectos urbanos que son precursores del cambio climático, lo cual contribuye al desarrollo sustentable de la ciudad.

El siguiente diagrama, describe las relaciones entre el subsistema urbano y los sistemas ecológico y socioeconómico, así como la respuesta del desarrollo urbano a los diversos factores ecológicos y a los requisitos del sistema socioeconómico. Para el caso particular de esta investigación, el subsistema urbano está representado a largo plazo por las condiciones de cambio climático, o por su capacidad de adaptación; y por los cambios a corto plazo en la edificación e infraestructura existente, influenciado directamente por el problema ambiental e indirectamente por el sistema socioeconómico. La capacidad de adaptación está determinada por los cambios en el largo plazo del uso del suelo, la adopción de sistemas constructivos y otras tecnologías, así como en la disminución del consumo de energía entre otros recursos. Al emplear sistemas constructivos que aumenten el albedo y disminuyan la carga térmica, lograr una reforestación urbana adecuada y, establecer esquemas de uso del suelo enfocados entre otras cosas a la adaptación del cambio climático; se estará en posibilidades de aminorar los impactos del cambio climático y por lo tanto, transitar hacia una sustentabilidad urbana.

Figura 1. La coevolución del subsistema urbano con los sistemas ecológico y socioeconómico.



Fuente: Adaptado de Saifi (2004).

Este esquema simplifica la realidad con el fin de facilitar la comprensión del problema; sin embargo no hay que olvidar que mitigar y/o adaptar el espacio urbano a los efectos del cambio climático es un proceso complejo el cual tiene efectos en otros sistemas, por lo tanto habrá otros efectos en la retroalimentación (dependiendo la escala) y otras influencias de los sistemas implicados, lo cual conlleva a interacciones recíprocas, las cuales pueden cambiar de caso en caso, ya que un sistema puede ser más dependiente de esas relaciones que otro.

1.2 El paradigma del desarrollo sustentable

En la actualidad la noción del desarrollo sustentable se ha convertido en una expresión inevitable en el discurso político y académico, pero no fue hasta la década de 1980 cuando surge dicho concepto el cual fue utilizado por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza en su Estrategia Mundial para la Conservación en 1980 (Arguello, *et al.*, 1996). Para 1983 se dio un paso en la elaboración de un nuevo modelo de entender la realidad ambiental, cuando la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo estimuló la filosofía del desarrollo sostenible (Folch, 2008). En 1987, el término se complementa en el informe Brundtland, que define el concepto de desarrollo sustentable como “el desarrollo que satisface las necesidades del

presente, sin comprometer la capacidad de que las futuras generaciones puedan satisfacer sus propias necesidades” (Brundtland, 1987). Así el concepto se ha convertido en un principio fundamental de políticas económicas, de equidad social y en especial de protección ambiental.

El paradigma del desarrollo sustentable, que reúne y es transversal a otros procesos, pretende atender “equitativamente” las necesidades de las generaciones presentes y las futuras, lo cual trasciende los procesos medioambientales para incluir de manera indisoluble lo social y lo económico, sin mencionar los territoriales. En consecuencia todo mecanismo de integración y acción conjunta, debe considerar la problemática de la interdefinibilidad dentro de la autonomía de los procesos (López, 2007).

Lo que ha causado que el desarrollo sustentable sea materia de transposiciones constantes, no siempre afortunadas, se debe a que han convertido al concepto en nociones que pasan de tratados internacionales a leyes y reglamentos nacionales y de estos, a programas públicos de diferentes niveles y sectores de gobierno. Esta transposición acelerada del concepto da la impresión de que al hablar del desarrollo sustentable se trata de algo que exhibir, de una etiqueta, por ello en los últimos años constituye un emblema de lo políticamente correcto. La cuestión es entonces si, en el caso de las ciudades, el desarrollo sustentable consiste también de una especie de mandamiento universal, una expresión fetiche que condensa numerosas vaguedades sobre el medio ambiente y si, con el hecho de evocarla, es suficiente para mitigar los impactos ambientales del desarrollo; o bien, si se trata de una opción real para hacer frente al desafío implícito en la contradicción que supone la exigencia de desarrollo económico de la ciudad y el cuidado de su medio ambiente, pues pareciera que el desarrollo sustentable ha sido víctima de su éxito, convirtiéndose en un concepto vacío al que se le ha adjudicado una cierta utilidad como artificio lingüístico asociado con numerosos significados (Ugalde, 2011).

Por lo tanto, siendo la ciudad el medio ambiente artificial por excelencia, no sólo por concentrar la actividad productiva y el consumo masivo de recursos y energía, sino también porque en la actualidad el propósito de ésta es convertir un territorio en un espacio de competitividad económica, surge la pregunta: el concepto de desarrollo sustentable aplicado al espacio urbano ¿es el camino a seguir para superar las incoherencias del modelo de desarrollo urbano actual? más aún, a través de su integración como concepto “desarrollo urbano sustentable” y de algún

modo a través de su aplicación ¿se puede dar posibilidades para adaptar el espacio urbano ante las nuevas condiciones que implicará un cambio climático global?

Por ello entre otras razones, el Consejo Nacional de Investigación Científica de los Estados Unidos reconoce que desde que el concepto de desarrollo sustentable se dio a conocer se ha generado una serie de debates, demostrando que ha sido mucho más fácil definir la sustentabilidad como un concepto intelectual que como un concepto operativo. Por lo tanto, hablar de sustentabilidad urbana a nivel local puede diferir sustancialmente de la sustentabilidad urbana desde una perspectiva nacional e internacional (National Research Council, 2010).

En todo caso como lo menciona Ugalde (2011: 253) “La evaluación crítica del desarrollo sustentable como un esquema conceptual para la gestión ambiental puede expresarse en la afirmación según la cual se trata de un concepto cuya demostración está por hacerse y que, en el peor de los casos, ha fracasado en mitigar la degradación ambiental. Y es que lo que ocurre es que dado que no existe una definición estable de la noción de desarrollo sustentable, la forma de hacer operativo o funcional este concepto es que funcione como criterio de valoración sin un contenido específico, como una suerte de estándar cuyo contenido se define cuando es movilizado”.

En este sentido, por lo menos durante las últimas dos décadas un sinnúmero de trabajos científicos han proporcionado una enorme cantidad de hechos que apuntan a la necesidad urgente de cambiar la forma en que nuestras ciudades funcionan. Un informe del grupo de trabajo sobre desarrollo y estilo de vida del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) revela que la comunicación hoy en día acerca de la sustentabilidad gira en torno a las regulaciones normativas y la abnegación, lo cual advierte una desconexión notable del tema por parte de la sociedad en su conjunto (UNEP, 2012).

Por ello y como se establece en Nuestro Futuro Común, se requiere de estrategias que permitan integrar el conocimiento y acciones experimentales en programas, así como una gestión para la adaptación y aprendizaje social. Este conocimiento se extiende básicamente en todas las categorías de la ciencia; sus contribuciones han permitido llevar las ideas de sustentabilidad de la teoría a la práctica. Aún así, el verdadero poder de estas ideas de sustentabilidad proviene de la capacidad de integrar y sintetizar en lugar de dividir las ideas en categorías delimitadas. Por lo que, y como lo dice Clark (2001: 1025) “*Nuestro impedimento para transitar hacia un desarrollo*

sustentable, ha sido nuestra propia ignorancia de cómo hacerlo”. Queda claro entonces que nuestros esfuerzos futuros deben ser enfocados a comprender y manejar el desarrollo sustentable como efecto de interacción múltiple con el medio ambiente.

De esta manera el conocimiento no es sólo un recurso crucial para transitar hacia la sustentabilidad; permite además incrementar significativamente la inversión económica y el capital político en el tema, por lo que se debe buscar a través de estudios enfocados a las interacciones entre desarrollo y medio ambiente en lugares específicos, dado que para encontrar las amenazas críticas de la sustentabilidad deben emerger de una región específica con características sociales y atributos ecológicos propios. De este modo, es la región una base resultante en el planteamiento de sustentabilidad. Afortunadamente la región como lugar provee un marco de trabajo conceptual y operacional en el cual el desarrollo sustentable es un integrador el cual es posible manejar (Clark, 2001).

Así, la escala seguramente constituye apropiadamente la clasificación de lugar; entender la relación de fenómenos entre macro y micro escala, es claramente un tema central para la sustentabilidad. De esta manera, la escala espacial se convierte en la forma más apropiada para examinar aspectos particulares de la sustentabilidad. Por lo que definir a la sustentabilidad como una ciencia basada en lugares –sitios—, beneficiará al momento de regionalizar las necesidades entre medioambiente y desarrollo. Finalmente, de esta forma mucho del conocimiento y toma de decisiones que son necesarias para transitar hacia la sustentabilidad están sujetas a lugares y circunstancias particulares, donde **la creación de modelos y evaluación de escenarios** son usados para dar soporte a los esfuerzos de sustentabilidad, los cuales requieren tanto de la perspectiva global como del contexto local.

Por lo tanto, el reto que enfrentan estos “sitios” es alcanzar patrones que hagan uso eficiente del suelo y la infraestructura y reduzcan las cargas materiales y de energía al producir niveles de vida satisfactorios. Todo ello requiere tanto de una necesidad y oportunidad de buscar nuevos comportamientos en instituciones, políticas, tecnología, configuración de asentamientos, gestión ambiental y configuración de infraestructura para avanzar hacia la sustentabilidad.

El desarrollo sustentable representa un proceso de cambio social en el cual se armonicen el aprovechamiento de los recursos, el sentido de las inversiones, la orientación del desarrollo

tecnológico y las reformas institucionales para ampliar el potencial actual y futuro, y con ello satisfacer las necesidades y aspiraciones humanas (Rojas, *et al.*, 2005)

Por otra parte Larraín (2004) establece que, el paradigma de la sustentabilidad, al integrar en sus dimensiones lo social, lo ambiental y lo político, expresa claramente la necesidad de una transición desde las agendas puramente sociales o ambientales hacia una agenda sistemática e integrada. Es un marco que también estimula una mayor articulación entre propuestas sectoriales a nivel del territorio, sean estas locales, regionales o nacionales.

Así, la sustentabilidad se convierte en un ideal con el cual medir; en sí misma no es posible dentro de las suposiciones bajo las cuales se desarrolla la vida urbana actual, por lo que resulta necesario replantear nuevos esquemas de intervención y construcción de la ciudad desde una óptica que integre las necesidades sociales, ambientales y económicas. Además de desarrollar nuevos conceptos aplicados a nuestra realidad urbana, se requiere de nuevos conceptos y valores que trasciendan la visión actual de la ciudad; esto nos obliga a dejar de acelerar el mismo tipo de acciones que se han tomado en el pasado (Walter, *et al.*, 1992).

1.3 Cambio climático

El cambio climático es ahora ampliamente reconocido como un gran reto ambiental que enfrenta la humanidad. Sus impactos incluyendo el aumento de fenómenos meteorológicos extremos, temperaturas elevadas, cambios en el ritmo e intensidad de las precipitaciones y el aumento del nivel del mar; en conjunto se espera que resulte en pérdida de biodiversidad, en la disponibilidad de agua y amenazas a las áreas urbanas donde se concentra la población, los recursos y la infraestructura.

Es por ello que el tema se ha convertido en un filtro útil para las áreas urbanizadas cuando se piensa en temas de sustentabilidad como respuesta al desarrollo, aun cuando un enfoque holístico de sustentabilidad requiere respuestas que van más allá del tema de la energía como adaptación al cambio climático. Por ello, analizar la complejidad de un sistema urbano sustentable requiere de un enfoque específico basados en el contexto del lugar. (National Research Council, 2010)

El tema, a pesar de ser de actualidad, no es nuevo. Una de las primeras hipótesis respecto al calentamiento de la Tierra, provocado sobre todo por el aumento de las emisiones de bióxido de

carbono asociado a la época industrial, fue planteado por el químico sueco Arrhenius, en 1896 (Lezama, 2001).

En la actualidad existe un consenso científico al respecto y más importante aún, si las tendencias actuales en la emisión de gases efecto invernadero (GEI) continúan, se estima que para finales de este siglo la temperatura global podría aumentar hasta 6° C. Esto conducirá a un mayor riesgo de fenómenos meteorológicos extremos como las tormentas destructivas, las inundaciones y sequías. Incluso los cambios proyectados de un 1,5 a 2.5° C de aumento de la temperatura media mundial podría transformar la geografía física del mundo, enfrentando a millones de personas a escasez de alimentos, agua y falta de vivienda (IPCC, 2007).

Son dos los documentos que hacen referencia directa a la mitigación y adaptación del cambio climático en las áreas urbanas. El primero es el Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), en el cual se señala que los centros urbanos y la infraestructura que concentran deben ser capaces de adaptarse con el fin de reducir los riesgos de los impactos directos e indirectos del cambio climático.

Posteriormente, se publica el Informe Mundial sobre Asentamientos Humanos 2011 “Ciudades y Cambio Climático” (ONU-Hábitat), en el cual se identifica a los acelerados procesos de urbanización y al cambio climático, como dos fuerzas poderosas y convergentes que amenazan la calidad de vida y la estabilidad económica y social de los centros urbanos. Por tanto, abordar el cambio climático es fundamental si se quiere construir ciudades más sustentables y habitables; esto se logra al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y aumentar la resistencia de los asentamientos humanos.

El mismo informe establece que todos los centros urbanos tendrán que hacer "adaptaciones" conforme a las condiciones ambientales de su región, a la disponibilidad de los recursos naturales y los riesgos ambientales con el fin de seguir funcionando; para ello, es necesario un proceso mediante el cual la planeación y gestión de la ciudad asegure la adaptación planificada.

En definitiva, el cambio climático está generando retos importantes que influyen en la manera en que se transita hacia un desarrollo sustentable. A diferencia de otros problemas que ha enfrentado la humanidad, enfrentar el cambio climático requiere una visión a largo plazo, lo cual permita actuar antes que los impactos sean visibles. Otra de las complicaciones es la escala

mundial del problema, debido a que los conductores del cambio climático son realmente globales, que incluso las acciones logradas regionalmente serán limitadas en una perspectiva de aminorar los impactos a escala regional (Field, *et al.*, 2007).

Como se puede observar, son las ciudades las que están al frente de las consecuencias del cambio climático, ya sea por ser las principales emisoras de GEI, o bien debido a que concentran la mayor cantidad de población, la infraestructura y servicios básicos. Por ello el IPCC establece que en las ciudades, bajo un contexto de desarrollo sustentable, la mitigación es posible y la adaptación es necesaria (IPCC, 2009).

Sin embargo, el mismo IPCC reconoce que a pesar de que en el cuarto informe se hace referencia a la planeación urbana, no existe aún un estudio exhaustivo sobre el papel que la planeación urbana puede desempeñar en la mitigación y adaptación, mucho menos se tiene una visión cuantitativa de las posibles contribuciones de las diferentes medidas y sus costos. Como tampoco se discuten las estrategias que corresponden a las zonas urbanas, ni existen estimaciones actuales de GEI relacionadas con la infraestructura. Sólo existen algunos casos de estudio que no se pueden considerar de aplicabilidad general. De igual manera, el cuarto informe indica que una evaluación creíble sobre las perspectivas de adaptación general y sobre la mitigación en el sector del transporte es limitado debido a la cantidad y el alcance de los estudios disponibles sobre el potencial de mitigación y el costo (IPCC, 2009).

Toda ciudad tendrá que adaptarse al cambio climático conforme a las condiciones ambientales de su región, a la disponibilidad de los recursos naturales y los riesgos ambientales con el fin de seguir funcionando, de tal forma que se garantice que los edificios y la infraestructura soporten condiciones meteorológicas extremas y, que los sistemas de abastecimiento de agua y energía puedan hacer frente a estas variaciones. De igual manera, los servicios de salud pública deberán ser capaces de hacer frente a los riesgos posibles relacionados con el cambio climático en las próximas décadas; sean éstos por olas de calor, por reducción en la disponibilidad de agua, o bien, un incremento en la transmisión de ciertas enfermedades.

Como se ha mencionado, la adaptación de las ciudades al cambio climático requiere entender sus implicaciones en el desarrollo urbano, lo cual, por una parte se puede lograr a través de la investigación que proporcione la información necesaria para orientar las decisiones de

planeación urbana; y con ello contribuir a la construcción de acciones ante los escenarios climáticos con mayor certeza y de esta manera reducir los impactos en las ciudades.

En este sentido, el ordenamiento territorial y la planeación urbana son los instrumentos normativos con los cuales se orientan las políticas de utilización del territorio; por lo que, es a través de éstos que se debe integrar la información necesaria que permita establecer estrategias de mitigación y adaptación ante el cambio climático. Estrategias que pueden ser utilizadas para generar sinergias entre los distintos niveles y sectores de gobierno y la sociedad civil. Además como ya se mencionó, en estos instrumentos se puede priorizar las formas de reducir los GEI en un contexto de desarrollo sustentable.

Al respecto de la creación de sinergias, Dymén y Henriksson (2009) establecen tres factores para hacerlo. El primero es reconocer la dicotomía “mitigación-adaptación”, en referencia a que se requieren inversiones a corto plazo con resultados a corto plazo, como de estrategias de adaptación a largo plazo acompañadas de sus respectivos financiamientos; en ambas se buscan incidir en el clima. El segundo factor se refiere a las medidas de mitigación y de adaptación, las cuales surgen de las tomas de decisiones locales; sin embargo, éstas derivan de políticas nacionales y de acuerdos internacionales. El tercer factor, hace referencia a los actores que deben estar involucrados para la formulación de estrategias para reducir las emisiones de GEI, entre los que se debe incluir: al sector industrial, transporte público y generación de energía; además, de los encargados de la gestión del agua y conservación de la naturaleza.

Como se puede observar, la mitigación y adaptación al cambio climático requiere de herramientas que puedan incorporar las diversas dimensiones de la problemática desde un enfoque de sustentabilidad. En este sentido, la planeación urbana como herramienta e instrumento normativo, ofrece un enfoque integral al reconocer los aspectos urbanos y sus efectos desde una perspectiva espacial y con proyecciones a futuro; además de establecer la relación entre las estrategias locales y las políticas nacionales.

Davoudi (2009), establece que el papel de la planeación en la adaptación del entorno construido ante los impactos del cambio climático se debe enfocar principalmente a tres cuestiones: la primera es ubicar los nuevos desarrollos fuera de las zonas de riesgo (inundaciones y erosión de las costas); al diseño y emplazamiento de las edificaciones y áreas urbanas con el fin de que sean

resistentes a las olas de calor y, a la promoción de la gestión sustentable del agua en los nuevos desarrollos.

Profundizando al respecto, el autor comenta que para evitar las zonas de riesgo, la planeación tiene un claro papel activo que desempeñar, sin embargo éste se ha visto obstaculizado por la necesidad de oferta de vivienda, especialmente en lugares donde está limitado el terreno disponible para el desarrollo. Y en cuanto a la resistencia a las olas de calor, establece que la provisión de infraestructura verde se ha convertido en un aspecto crítico en las áreas urbanas. También enfatiza que para capitalizar la intervención y la capacidad de coordinación a nivel local, mucho se tiene que hacer a nivel nacional respecto a la priorización de políticas a favor de la protección ante el cambio climático, mejorar la coordinación sectorial sobre temas críticos del cambio climático, promover la formación y capacitación enfocada al cambio climático a planeadores y, proveer de recursos suficientes a las dependencias encargadas de la planeación; lo cual debe llevar a cumplir los objetivos de la política nacional, comprometerse con las comunidades locales y ofrecer respuestas locales e innovadoras al cambio climático.

Por lo tanto, resulta necesario adaptar los procesos a través de los cuales se planifica y gestiona la ciudad, asegurando los nuevos requerimientos que impone el cambio climático. En este sentido, los métodos y herramientas necesarias para intervenir en la ciudad son conocidos y su eficacia ha sido demostrada en algunas ciudades; específicamente se hace referencia a los ajustes necesarios tanto al reglamento de construcción como al de subdivisión del suelo (fraccionamientos), que combinados con la planeación urbana logran dirigir al tejido urbano hacia un esquema de adaptación potencial.

Finalmente, se puede entender la complejidad en la cual están inmersas las políticas de mitigación y de adaptación ante cambio climático en las áreas urbanas, y aún más complejo si se pretende analizar con rigor tanto el origen como el resultado de su aplicación, que sin duda, nos llevarían a transitar hacia un desarrollo urbano más sustentable. Por tanto, el planteamiento teórico necesario para esta investigación debe permitir no sólo analizar las causas y efectos de la isla de calor urbana como uno de los precursores de cambio climático, sino también, hacer el planteamiento para incorporar su análisis, mitigación y adaptación del tejido urbano para aminorar sus impactos en el proceso de planeación urbana en el largo plazo.

1.4 Mitigación y adaptación

Hasta ahora han sido utilizados los conceptos de mitigación y adaptación en las diferentes escalas —desde los tratados internacionales, la estrategia nacional, hasta llegar a las metas regionales o locales— por lo que estos conceptos resultan ser la base del quehacer ante el cambio climático. ¿Pero qué significan estos conceptos? El IPCC define la mitigación como: *“una intervención antropogénica para reducir la emisión de gases con efecto invernadero, o bien aumentar sus sumideros* (IPCC, 2007a: 84); y a la adaptación como: *el ajuste de los sistemas naturales o humanos en respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar los daños o aprovechar sus aspectos beneficiosos”*. (IPCC, 2007a: 76) Pueden distinguirse varios tipos de adaptación (Tabla 1), entre ellos la preventiva y la reactiva, la pública y la privada, y la autónoma y la planificada.

El mismo IPCC define también el concepto de política de adaptación como: *“las medidas adoptadas por los gobiernos, tales como medidas legislativas y normativas y la creación de incentivos, para forzar o promover cambios en los sistemas socioeconómicos a fin de reducir la vulnerabilidad al cambio climático, incluidos los fenómenos extremos y la variabilidad del clima”*. (IPCC, 2007a: 86) Estas medidas o cambios pueden aplicarse a las prácticas, los procesos o las estructuras de los sistemas, en respuesta a variaciones proyectadas o reales en el clima.

Sin embargo cabe destacar que la utilización de estos conceptos no fue siempre igual. En los primeros años se prestó menos atención a la adaptación que a la mitigación, ya que los países querían tener mayor certeza de los efectos del cambio climático y a la vulnerabilidad a éste, antes de adoptar medidas concretas de adaptación. Ahora está claro que la mitigación y la adaptación no son alternativas: ambas deben ser perseguidas de manera activa y en paralelo. La mitigación es esencial y la adaptación es inevitable. La mitigación es esencial porque, sin una acción firme, las generaciones futuras podrían enfrentarse con el cambio climático en una escala tan abrumadora que la adaptación puede no ser factible. Pero la mitigación no será suficiente por sí sola; incluso si los esfuerzos actuales para reducir las emisiones tienen éxito, cierta adaptación será inevitable porque el cambio climático se produce sólo después de mucho tiempo de retardo. El calentamiento global actual es consecuencia de las emisiones de hace décadas, y el proceso

continuará, e incluso los esfuerzos más rigurosos a la mitigación de hoy no será capaz de prevenir los cambios climáticos en el futuro (UNFCCC, 2006).

Resulta evidente que los gobiernos no pueden dejar la adaptación por completo a las fuerzas sociales o de mercado. Hasta cierto punto, los ajustes se llevarán a cabo de forma dispersa y relativamente de manera autónoma en lo individual, por ejemplo, los propietarios de viviendas o negocios pueden responder al aumento de temperatura aislando térmicamente la edificación o instalando sistemas de aire acondicionado. Sin embargo, otras formas esenciales de adaptación requieren que las instituciones, tanto públicas como privadas, planeen sus estrategias y tomen medidas anticipadas. Un ejemplo de esto sería, que en los futuros desarrollo de vivienda –aun que se puede aplicar para todo tipo de construcción— deberán soportar los cambios climáticos, por lo que será necesario modificar y en algunos casos, introducir nuevos códigos de construcción. Esta distinción entre la adaptación reactiva y planificada se ilustra en el siguiente cuadro enfocado a los sistemas humanos.

Tabla 1.- Tipos de adaptación al cambio climático.

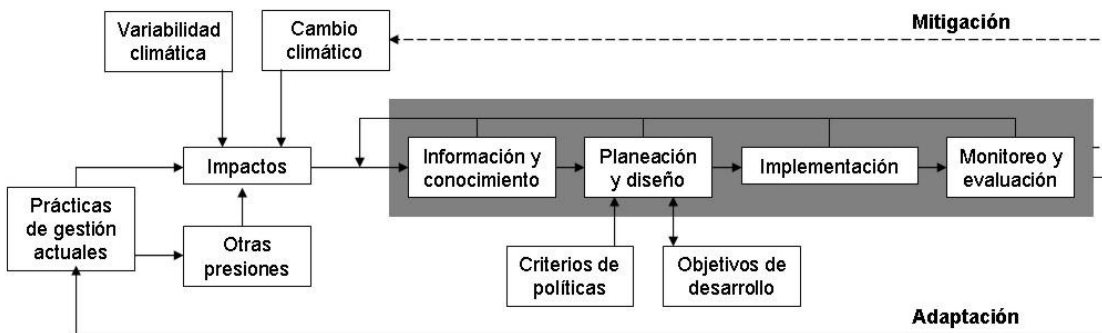
		Anticipada	Reactiva
Sistemas Naturales			• Temporada baja y de bajo crecimiento. • Migración de especies de humedales. • Cambios en los ecosistemas.
Sistemas Humanos	Privados	• Cambios en el diseño arquitectónico de los edificios. • Contrato de pólizas de seguro por riesgos. • Creación de nuevos productos.	• Cambio de domicilio. • Aumentar riesgos en pólizas. • Instalar sistemas de aire acondicionado.
	Públicos	• Instalación de sistemas de alerta. • Establecimiento de nuevas normas de construcción. • Construcción de diques.	• Oferta de compensaciones y/o subsidios. • Aplicación de normas de construcción. • Protección de playas.

Fuente: Adaptado de UNFCCC, 2006a.

Ahora bien, la adaptación planificada se plantea en el CMNUCC como una secuencia de cuatro etapas (Figura 2); la primera de ellas hace referencia a la recopilación e interpretación de la información necesaria; en segundo lugar, la planeación y diseño de una respuesta técnicamente factible y coherente con los objetivos de desarrollo del país, de la región o de la localidad

(tecnologías rentables, ambientalmente sustentables, compatibles culturalmente y socialmente aceptables). En una tercera etapa, la implementación que además de llevarla a la acción, debe recibir el apoyo activo de las instituciones y organizaciones de la sociedad civil (sean éstas en el ámbito urbano o rural). Y la fase de monitoreo y evaluación, en la cual se debe vigilar y evaluar continuamente las acciones y tecnologías aplicadas con el fin de hacer los ajustes o cambios de rumbo, y la innovación y la retroalimentación (UNFCCC, 2006a). Por lo tanto es posible describir a la adaptación como la continuación de un proceso en curso, el cual en lugar de concentrarse en un sector como la energía –tal como lo hace la mitigación—, ésta requiere estar presente en todos los sectores productivos y de la sociedad, por lo que presenta importantes desafíos al involucrar tantos intereses.

Figura 2.- Pasos iterativos en la adaptación planificada ante el cambio climático.



Fuente: Adaptado de UNFCCC, 2006a.

De igual manera, la OCDE considera que la adaptación al cambio climático es un proceso continuo (no un solo resultado), el cual requiere examinar regularmente las políticas de desarrollo, los planes, los proyectos, así como las condiciones socioeconómicas de la población, además de proyectos a diferentes escalas (nacional, regional, y local) y en los distintos sectores, sin olvidar la evaluación de la vulnerabilidad como un paso importante que conduce a la adaptación (OECD, 2009). En este sentido Sánchez-Rodríguez (2009) refiere que la ordenación del territorio ofrece tres ventajas para la adaptación al considerar a la planeación como una herramienta de la sociedad para crear un orden entre las actividades en el espacio urbano, para reducir los conflictos entre ellos, y porque debe busca el bienestar de los habitantes. Sin embargo, también puntualiza que actualmente existen una serie de problemas y limitaciones en la ordenación del territorio al abordar la adaptación al cambio climático, debido a que la planeación se centra sólo en la dimensión física de la ocupación y crecimiento de los asentamientos

humanos, además que los organismos encargados presentan una capacidad limitada de recursos humanos, técnicos y económicos, dando como resultado una limitada o nula investigación para crear perspectivas multidimensionales de los problemas urbanos.

De esta manera, en la ciudad donde la acción antrópica alcanza la máxima intensidad, incluso en aspectos no visibles como la composición del aire o el clima, se generan una serie de impactos que tienen una gran repercusión ambiental, afectando de manera directa a sus habitantes. Las ciudades, refiere Serra (2007) constituyen sectores singulares dentro del clima de las regiones donde se localizan, apareciendo como discontinuidades climáticas debido a la modificación de las condiciones naturales que existían antes de su construcción o de las del entorno rural próximo.

1.5 La planeación urbana como instrumento clave

Con lo expuesto resulta evidente el rol de las ciudades y sus instrumentos de planeación territorial en el proceso de mitigación y adaptación ante el cambio climático. Esta situación es de particular importancia para las ciudades de países en desarrollo debido a los impactos y aumento en los eventos climáticos (De Sherbinin, *et al.*, 2007). Pero también por la poca o nula preparación para enfrentar estas situaciones; motivos por los cuales es necesario integrar la mitigación y adaptación como dimensión clave en la planeación territorial a escala local.

En páginas anteriores se revisaron los conceptos de mitigación y adaptación. El primero implica principalmente cambios de tecnologías y diversidad energética, aspectos que en el caso de México son impulsados de cierta manera desde el gobierno federal –un ejemplo de ello es el programa ASI. Sin embargo, la diversidad de instrumentos e iniciativas para la adaptación se escapa de un esquema unilateral como el anterior. Dado que, como lo describe Adger, *et al.*, (2005) y Gallopin (2006), la adaptación está asociada con los conceptos de vulnerabilidad, resiliencia y capacidad adaptativa, y se relaciona con trayectorias de desarrollo donde deben ser considerados elementos de efectividad, eficiencia, equidad y legitimidad.

Por ello los procesos de adaptación deben ser integrados cuidadosamente a estructuras de toma de decisiones existentes como la planeación del territorio, la gestión de recursos y la gestión de riesgos, entre otros (Samaniego, 2009; Smit y Wandel, 2006). En otras palabras, tomar la planeación del territorio como un marco de acción dentro del cual se puede organizar, invertir y mejorar el sistema urbano-regional.

Lo anterior advierte además de un diagnóstico con escenarios de cambios esperados a mediano y largo plazo, requiere la capacidad de respuesta por parte del gobierno y la sociedad civil, así como instrumentos adecuados (planes, programas, proyectos) con financiamiento claro. Por ello el Banco Mundial señala que el grado de impacto que sufran las ciudades a causa de los cambios en el clima, dependerá de las acciones e iniciativas de los gobiernos locales para construir una ciudad más resiliente (World Bank, 2007).

Sin embargo, hay temas comunes para todas las ciudades-regiones, como son la gestión del agua (escasez e intensidad pluviales), el manejo de temperatura (edificación y minimización del efecto de isla de calor) y el manejo de usos de suelo para reducir riesgos en el presente y en el futuro; pero las adaptaciones al contexto local son la clave de la implementación de un plan y su posterior efectividad (Barton, 2009; Satterthwaite, *et al.*, 2007).

Hasta aquí destaca la necesidad de afrontar el futuro de la ciudad de forma integral, asociando aspectos físicos del medio ambiente con el desarrollo social y económico, conceptualizando la equidad en términos de vulnerabilidad y resiliencia al clima. Sin embargo, el sistema de planeación urbana actual, concebido en un marco de regulación y control para corregir las distorsiones del mercado y resolver de manera “consensuada” los conflictos de uso del suelo a través de la aplicación de reglamentos de zonificación, dista mucho de ello; de hecho, buena parte de los instrumentos de planeación urbana actuales en México resultan inoperables por la falta de recursos financieros necesarios para el desarrollo de infraestructura y equipamiento.

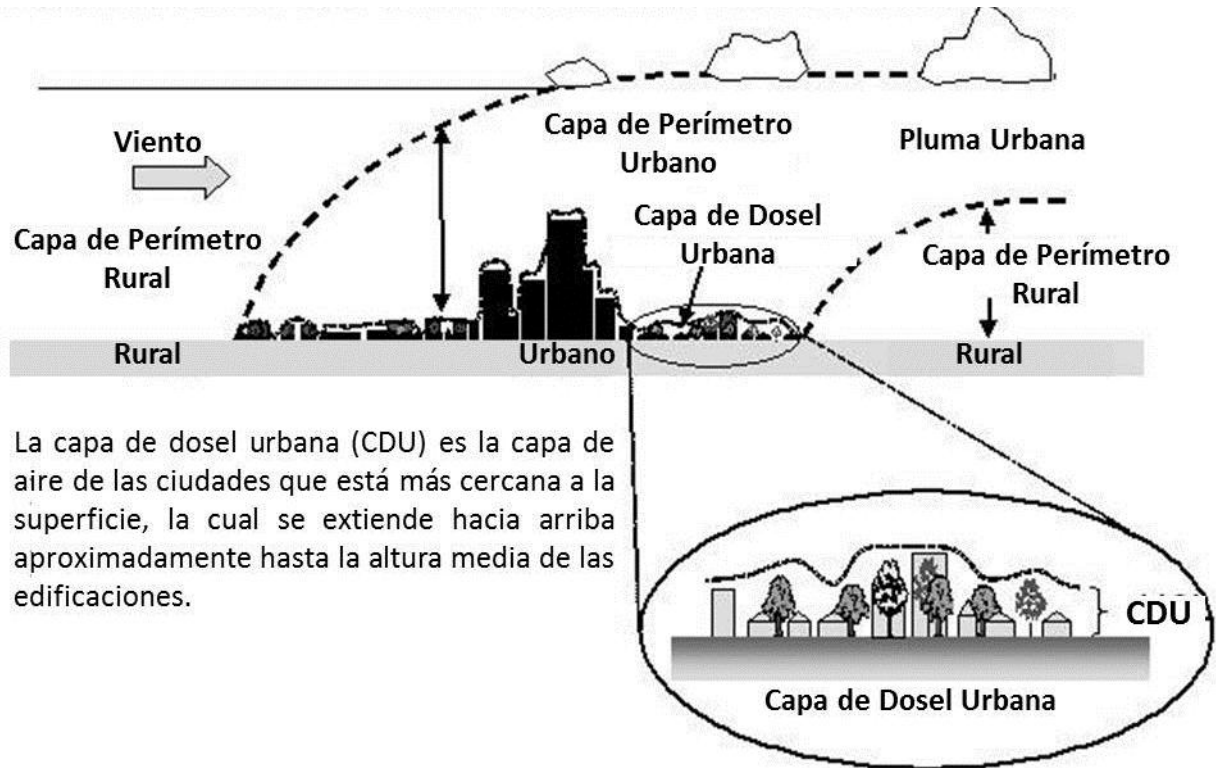
Por ello, Ansari (2009) comenta la necesidad de pensar sobre un marco más amplio de gestión del suelo urbano, que además de integrar los aspectos físicos del medio ambiente con el desarrollo socioeconómico, incluya la estructura institucional y sus capacidades, los mecanismos de coordinación y los procedimientos de financiamiento.

Como se puede observar, el cambio climático es uno de los retos más importantes de nuestro tiempo, en principio por ser causado por procesos antropogénicos (Deri y Alam, 2008; IPCC, 2007a). Pero también por los impactos que generará a los asentamientos humanos y su sistema de subsistencia.

1.6 Isla de calor urbana (ICU)

La isla de calor urbana es el término que se utiliza para describir el calor característico tanto de la atmósfera como de las superficies en las ciudades en comparación con sus alrededores no urbanizados. Son tres tipos de ICU (Figura 3); la identificada en la capa dosel (*canopy layer*), la de capa límite (*boundary layer*) y la de superficie (Voogt, 2008).

Figura 3.- Representación esquemática de los componentes principales de la atmósfera urbana.



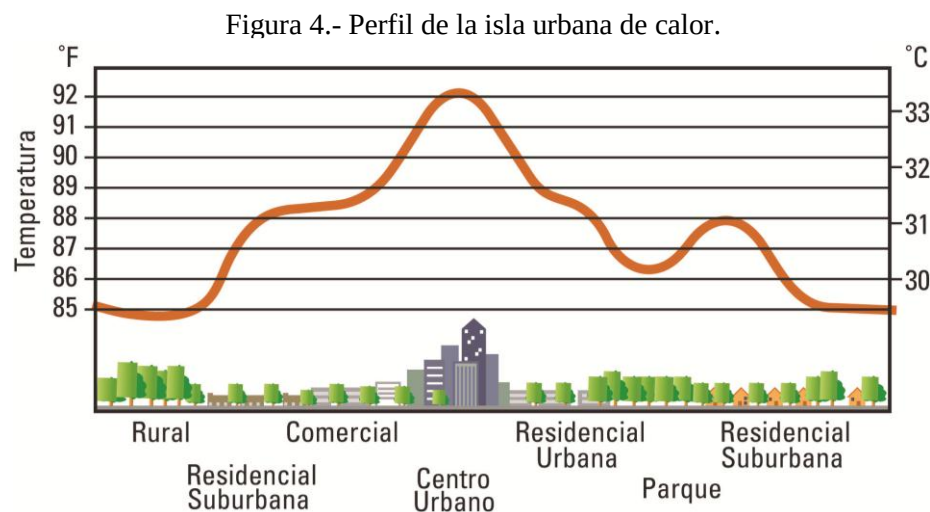
Fuente: Modificada de Voogt (2008).

Las dos primeras hacen referencia al calentamiento de la atmósfera urbana; la última se refiere al calor relativo de las diversas superficies que componen el espacio urbano. La capa de dosel urbano como se puede observar en la imagen anterior, es la capa de aire cercana a la superficie de la ciudad, la cual se extiende hacia arriba aproximadamente hasta la altura media de las edificaciones. Por encima de la capa de dosel urbano se encuentra la capa límite la cual puede elevarse hasta un kilómetro durante el día, y descender a cientos de metros o menos durante la noche. En cuanto al calor de las superficies, se refiere al comportamiento térmico de los diversos materiales utilizados en la construcción de la ciudad, así como a las áreas con vegetación o cuerpos de agua existentes al interior de la misma.

Los tipos de ICU varían en cuanto a su forma espacial y características temporales dependiendo de una serie de factores entre los que se encuentran: las condiciones meteorológicas de la región, en particular la nubosidad y viento; la forma y características del tejido urbano en lo cual se incluye: las características de las superficies de la ciudad tales como sus dimensiones y espaciamiento de las edificaciones, las propiedades térmicas de los materiales, y la cantidad de espacios verdes; y el calor antropogénico o calor generado por las actividades humanas, principalmente las actividades industriales y la combustión de combustibles fósiles y para el caso particular de Mexicali, las emisiones térmicas de los equipos de aire acondicionados en verano.

Las características de la superficie urbana son un factor importante que incide en los patrones espaciales de temperatura del aire. Las temperaturas son más altas en aquellas zonas con mayor densidad de construcción, y son más bajas cerca de parques, cuerpos de agua o zonas más abiertas. Las temperaturas de superficie son especialmente susceptibles a las características de la superficie: durante el día las superficies secas y oscuras que absorben luz solar fuertemente se vuelven muy calientes, mientras que las superficies más claras y/o húmedas son mucho más frías; también el sombreado ayuda a controlar la temperatura.

Por ello la ICU es comúnmente descrita como un patrón de temperaturas más altas en las zonas urbanas que en las zonas rurales circundantes (Montávez, *et al.*, 2000). La Figura 4 ilustra esta distribución de la temperatura.



Fuente: Earth Gauge (2014).

El primer antecedente sobre el tema se remonta a 1818, cuando Luke Howard descubrió por primera vez un exceso de calor en el centro de la ciudad de Londres, en comparación con las zonas rurales; las conclusiones en su libro *The Climate of London* anticipan que la temperatura de la ciudad no se debe considerar como la del clima de la región, debido a que en la ciudad se induce demasiado calor artificial, por su estructura, actividades y consumo de grandes cantidades de combustible. Desde el descubrimiento de Howard, la investigación en el tema de la ICU ha progresado. Actualmente se reconoce como lo establece Changnon (1992) que los efectos de la ICU han causado cambios en la lluvia y la temperatura que son similares, a aquellos que se pronostican se desarrollen en los próximos 100 años de acuerdo con los modelos de cambio climático global.

Son numerosos los estudios que se han realizado en las últimas décadas sobre esta problemática. Uno de los más citados es el de John Arnfield (2003), en el cual hace una revisión a fondo sobre los aspectos relativos a la ICU incluidos en las publicaciones sobre climatología urbana en el periodo de 1979-2001. En este mismo periodo de tiempo, han surgido nuevas tecnologías como los sistemas de información geográfica (SIG) y la teledetección, con la cual mediante tratamiento digital de imágenes de satélite se obtiene información puntual y temporal del comportamiento térmico de las ciudades o regiones, y su relación con los cambios en el uso o cobertura del suelo (Hardegree, 2006; Valor, *et al.*, 2000; Hafner y Kidder, 1999; Gallo y Owen, 1998; Eliasson, 1996; Gallo, *et al.*, 1993).

En la actualidad, la mayoría de los estudios sobre ICU han tenido lugar en ciudades densamente pobladas, la mayoría de ellas 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 Americanos del Norte, 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.*, 2003; Comrie, 2000); y más recientemente en la ciudad de Mexicali en Baja California, México (Camargo-Bravo y García-Cueto, 2011; García-Cueto *et al.*, 2009; García-Cueto *et al.*, 2007).

Son diversas las investigaciones realizadas sobre el tema, las cuales 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. Sin embargo, el tratar la adaptación-mitigación del fenómeno como parte de un esquema de planeación sustentable de la ciudad se ha quedado solo en criterios, por lo que resulta pertinente integrar estos a un esquema de planeación urbana.

El tema de la ICU ha sido reconocido por los distintos organismos que trabajan la agenda del cambio climático. Un ejemplo de lo anterior es el reconocimiento que se le da al tema en el Tercer Informe de Evaluación del IPCC como un efecto local importante (Johnson, *et al.*, 2001); o bien la inclusión del tema en la lista de impactos previsibles en el sector de los asentamientos humanos de la Estrategia Nacional Ante Cambio Climático (ENCC).

Este incremento en la temperatura urbana tiene varias implicaciones; una de ellas es el aumento en la demanda de energía por aire acondicionado, la cual según estudios (Akbari *et al.*, 1992b; Akbari, *et al.*, 2005; Gorsevski, *et al.*, 1998) puede llegar a ser entre 1.5 y 2% por cada 0.6° C además de la contaminación del aire (*smog*) generada por la reacción fotoquímica que se intensifica con las altas temperaturas (Jáuregui, 1997). Un ejemplo de lo anterior lo establece el caso de la ciudad de Los Ángeles en Estados Unidos, donde por cada grado de temperatura por encima de los 21° C la incidencia de contaminación incrementa alrededor de un 3% (Akbari, *et al.*, 1992a). Por este motivo el Departamento de Energía de los Estados Unidos (Akbari, 2005) indica que con una reducción de la temperatura de 1.7° C en áreas urbanas se estima que mejoraría la calidad del aire de una manera que sería aproximadamente equivalente a la sustitución de vehículos de gasolina por vehículos eléctricos. Otro ejemplo es la ICU en la ciudad de Phoenix, Arizona en la cual se eleva la temperatura mínima durante la noche en algunas zonas de la ciudad hasta en un 7° C (12.6° F) (Brazel, *et al.*, 2000).

1.7 Medición de la ICU

Una forma básica de identificar la ICU es comparar los datos suministrados por estaciones meteorológicas fijas distinguiendo las zonas rurales de las urbanas. De esta manera se puede inferir el efecto de las ciudades sobre el clima de la región. Pero existen otros cuatro métodos para medir el fenómeno además del anterior; como el realizar una serie de transectos al interior de la ciudad lo cual permite tener una imagen en dos dimensiones de la ICU; un tercer método es utilizando teledetección, el cual, a diferencia de los anteriores en los que se monitorea la temperatura del aire, con teledetección se obtienen las características de temperatura del espacio

urbano al medir la energía reflejada y emitida por las diversas superficies. Otro método es la medición del aire de forma vertical, este se utiliza para estudiar los efectos de la ICU sobre la capa límite, la cual como ya se mencionó es afectada por la capa de dosel urbano. Por último, el método de balance de energía se enfoca en medir los flujos de energía en las superficies; con este recurso se logra obtener mayor información sobre los orígenes de la ICU.

1.8 Mitigación y adaptación ante ICU

Son cuatro las estrategias principales de mitigación de la ICU: Reforestación, Azoteas Verdes, Azoteas Frescas y Pavimentos Frescos –estos últimos pueden ser porosos o reflexivos—. (Rosenzweig, *et al.*, 2011; Sproul, *et al.*, 2014; Yang, *et al.*, 2013; Li, *et al.*, 2014; Hewitt, *et al.*, 2014; Grimmond, 2007; EPA, 2008 y Gorsevski, *et al.*, 1998). Adoptarlas para reducir el efecto de la ICU, además del ahorro de energía y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuirá a la reducción de riegos a la salud pública, sin dejar de lado el valor estético que producen las áreas verdes urbanas. Estas estrategias se deben convertir en parte esenciales del desarrollo urbano actual y futuro. Para ello resulta necesario evaluar la ciudad y sus instrumentos de planeación con respecto a las conexiones entre la estrategia de desarrollo, el uso y cobertura del suelo y la temperatura de superficie. Un análisis detallado de estas interacciones permitirá un acercamiento a los primeros esquemas de planeación y ordenación del territorio para el desarrollo urbano con un enfoque hacia la adaptación del cambio climático.

Por otra parte, incrementar el albedo en las azoteas como estrategia de mitigación resulta importante, ya que la superficie que corresponde a las azoteas dentro del área urbana es muy grande, por lo tanto es lógico considerar opciones que permitan reducir la carga térmica en ellas. Por ejemplo, un incremento en el albedo 0.07 en superficies de edificios y vialidades, puede llegar a disminuir hasta en 2° C la temperatura ambiente (Meredith, 2004; Taha, *et al.*, 1997). Se ha estimado que si se reduce la radiación solar absorbida por vialidades y estacionamientos de un 90 a un 65% la temperatura pico del aire puede disminuir alrededor de 0.6° C. (Pomerantz, *et al.*, 2000).

Otra de las medidas de mitigación implica aumentar las áreas de vegetación al interior del área urbana en forma de cortinas arboladas y cubre pisos (Scott, *et al.*, 1999; Spronken-Smith y Oke, 1998) La primera, además de funcionar como filtro ante las corrientes de viento, intercepta la radiación solar antes de ser absorbida por los materiales impermeables. Además ayudan a

disminuir la temperatura del aire entre un 1.6° C a 3.3° C a través de la evapotranspiración. (Meredith, 2004). A su vez, las áreas cubiertas por vegetación o cubre pisos, además de los beneficios de la evapotranspiración, no permiten el aumento de la temperatura de superficie, manteniéndose por debajo de la temperatura ambiente, lo cual también aplica en las azoteas verdes.

1.9 La necesidad de un enfoque de modelado de la ICU con aplicación en la planeación urbana

A pesar de los impactos generados por la ICU en las áreas urbanas, ninguna ciudad ha logrado desarrollar un programa integral que permita reducir el calentamiento urbano (Stone y Rodgers, 2001). De igual manera se puede hacer mención de los pocos avances en materia de diseño urbano y su relación con la ICU. En general, los estudios hasta ahora realizados se han enfocado principalmente en los conceptos generales de la ICU, en el balance de energía y sus diferencias entre áreas urbanas y rurales, así como en la influencia de la geometría urbana en el fenómeno. Los modelos de ICU tratan de medir, observar y analizar cómo el rápido crecimiento de las ciudades ha impactado el microclima de la región y la calidad del aire (Oke, 1982).

Así los modelos de ICU han sido utilizados tanto para ayudar a entender cómo se desarrolla el fenómeno, cómo para estimar que tan efectivo resulta aplicar estrategias de mitigación. En cuanto a la escala de aplicación, Gartland (2011) afirma que los modelos existen para observar los efectos de la ICU a diferentes escalas, esto es, a nivel de edificación, de barrio, ciudad o región.

Como se advierte, hasta ahora 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. Sin embargo, incorporar la mitigación y adaptación del fenómeno como parte de un esquema de planeación sustentable de la ciudad se ha quedado solo en criterios, por lo que resulta pertinente integrar estos a un esquema de planeación urbana.

En este sentido, la presente investigación se centra en el desarrollo de un modelo que permita analizar los efectos en la temperatura de superficie en relación a los usos y cobertura del suelo y la aplicación de estrategias de mitigación. Siguiendo a Stone y Rodgers (2001), la ICU puede estar más relacionada con los patrones de uso del suelo, que con la densidad como comúnmente

se ha relacionado. Por lo tanto, desarrollar un modelo para analizar la mitigación del efecto de la ICU relacionado con la configuración y alternativas de usos y cobertura del suelo, representa un insumo importante a utilizar en el proceso de planeación de la ciudad.

Capítulo 2. Antecedentes

El Valle de Mexicali fue originalmente una de las zonas desérticas más secas de la región; es aún uno de los sitios donde se registran las más altas temperaturas en México, históricamente fue una de las zonas más aisladas y poco pobladas de México. A finales del siglo XIX se dieron los primeros esfuerzos de colonización, pero fue sobre todo a partir de la década de 1940 en que se realizaron en conjunto con Estados Unidos, grandes obras de irrigación aprovechando el caudal del río Colorado contribuyendo al desarrollo de la agricultura.

2.1 Características climatológicas relevantes del Valle de Mexicali

El Valle de Mexicali pertenece a la Subprovincia Fisiográfica del Bajo Delta del Colorado, en la Provincia Fisiográfica del Desierto Sonorense (Shreve y Wiggins, 1964). La ciudad de Mexicali presenta un clima cálido, seco, muy árido, con régimen de lluvias de invierno y una oscilación anual de temperaturas medias mensuales muy extremosa. De acuerdo a la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1981), es del tipo BW(h')hs(x')(e'), es decir la temperatura media anual es de 22.4° C, con grandes contrastes térmicos, tanto diarios como estacionales; en verano se tienen temperaturas máximas que han rebasado los 50° C, mientras que en el invierno las temperaturas mínimas pueden ser inferiores a los 0° C.

2.2 Antecedentes urbanos y de planeación

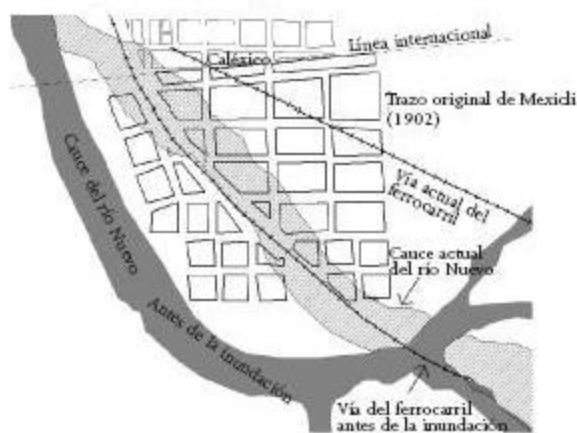
Lo que hoy se conoce como Valle de Mexicali tuvo su origen desde finales del siglo XIX, época durante la cual se presentó un proceso de expansión y apertura de nuevas fronteras agrícolas en el suroeste de Estados Unidos, lo que propició importantes proyectos de fomento agrícola ligados al desarrollo del sur de California, principalmente, como un intento de apropiación del territorio mexicano, en virtud de que los proyectos hidráulicos de la zona establecieron que cualquier derivación para regar tierras del estado de California con aguas del río Colorado, tenía que hacerse por territorio mexicano, lo cual requería invariablemente la aprobación del gobierno mexicano. Dentro de este contexto, nace Mexicali que, a pesar de su localización geográfica, su clima extremo y su aridez, fue considerado en alguna época como “el rancho algodonnero más grande del mundo”

que llegó a colocarlo en los mercados mundiales del llamado “oro blanco” (Bernal, 2002).

Durante la época prehispánica y colonial, el Valle de Mexicali estaba habitado por indígenas dedicados a la caza, pesca y agricultura. Los asentamientos humanos permanentes conformados por pioneros del sur de la península de Baja California, de Ensenada y del estado de Sonora se crearon a finales del siglo XIX.

Fue en 1902 cuando se realizó el primer trazo del poblado de Mexicali, dividido en dos secciones; en la primera de ellas habitaban la mayoría de los ciudadanos chinos y el llamado Pueblo Nuevo donde se asentó la población mexicana. Este primer trazo consistió en una estructura ortogonal con calles amplias y callejones de servicio. Sin embargo, la continuidad de esta estructura se vio afectada por las inundaciones de 1905-1907, acontecimiento de mención indispensable por autores de ambos lados de la frontera (Samaniego, 2008).

Figura 5.- Trazo original de Mexicali y cambios en el río Nuevo y el ferrocarril por inundación.



Fuente: Adaptado de Ley y Calderon (2008).

En el año 1914, se emite el decreto de reconocimiento de la ciudad como cabecera del municipio del mismo nombre. Al año siguiente, pasa a ser capital del territorio y a partir del 16 de enero de 1952, la capital del estado de Baja California.

Con apenas 110 años, Mexicali, al igual que otras ciudades de la frontera norte de México, se ha caracterizado por su alto crecimiento demográfico. Para 1910 contaba con 462 habitantes; sin embargo para 1921 después de la Revolución Mexicana, su población había incrementado 15 veces en solo 11 años, esto es 6,782 habitantes, lo cual demuestra

que a pesar de ser una ciudad pequeña, ya presentaba condiciones de atracción muy fuertes (Álvarez, 2002; Palomares, 2003).

La organización de la ciudad se da principalmente en la década de los años 1940 y 1950 cuando se va imponiendo como eje las vías del Ferrocarril Inter-California, la cual había servido hasta entonces para limitar el crecimiento hacia el sur; sin embargo son tres los eventos que determinan la conformación de la estructura de la ciudad: el primero fue la culminación del canal Todo Americano en el año 1942; el segundo en el mismo año fue la firma del tratado de aguas entre ambos países reafirmando lo que fue el distrito de riego y; finalmente la compra por parte del gobierno de Mexicali de las tierras que pertenecían a la Colorado River Land Company, consolidando el valle agrícola. El rápido crecimiento de la ciudad marcó la necesidad de implementar infraestructura local la cual se caracterizó principalmente en el fortalecimiento del aspecto hidráulico, así como el inicio de los estudios para la dotación de drenaje y alumbrado público en las principales vialidades (Guzmán, 2003). Otro factor determinante para el desarrollo de la ciudad fue la conclusión en 1947 del ferrocarril Sonora-Baja California (Álvarez, 2002) el cual además de comunicar de manera rápida y segura al estado con el resto del país terminaría integrándose al ya existente Inter-California.

En décadas recientes se puede decir que el crecimiento de la ciudad se ha mantenido principalmente por dos razones: la primera de ellas, la ocupación de suelo agrícola de bajo costo y la segunda debido a las políticas de planeación urbana que han permitido su expansión anárquica. Otro aspecto mencionado por Guzmán (2003), es la dotación de servicios de infraestructura a las zonas dispuestas para el establecimiento de industrias.

Con la creación de parques industriales hacia la periferia de la ciudad desde fines de los años sesenta y más aún en los ochenta, se iniciaron notables cambios en la localización de la actividad industrial urbana. Ante estas circunstancias, surge de manera inevitable una mezcla indiscriminada en el uso del suelo urbano que revela incompatibilidades en el ordenamiento territorial de la ciudad. Un ejemplo típico es la localización de industrias en espacios que corresponden predominantemente a áreas de uso habitacional de comercio y servicios, creando con ello situaciones diversas de riesgo ambiental y de conflicto con la población aledaña (González, 1996).

En cuanto a la dinámica demográfica, es durante las décadas de 1930 y 1950 que se presentó el crecimiento demográfico de mayor relevancia en las entidades fronterizas; periodo en el que Mexicali pasó de 14,842 a 64,609 habitantes. En los años subsecuentes la población siguió aumentando y para 1960 ya eran 179,539 los habitantes de la ciudad. (González, 1996; Ley y Fimbres, 2011) En las últimas décadas, la población de Mexicali pasó de 469,216 habitantes en 1990 a 604,222 en el año 2000; recientemente los resultados del censo de población y vivienda 2010 establecen la población de Mexicali en 689,775 habitantes. En cuanto a los datos de proyecciones por localidad 2010-2030 de INEGI, se proyecta que la ciudad de Mexicali tendrá una población de 777,323 al 2025 y de 784,035 habitantes al año 2030.

Cabe señalar que las proyecciones de población utilizadas en programa de desarrollo urbano de centro de población de Mexicali 2025 (PDUCP) consideraron una población de más de un millón de habitantes al 2025, lo cual impacta directamente en las consideraciones de reserva territorial para el crecimiento de la ciudad.

2.3 Dinámica de ocupación (expansión) de la ciudad

La expansión urbana en las últimas décadas se ha dado de la siguiente manera: de 1980 a 1998 la ciudad creció 308 hectáreas anuales, mientras que en el periodo de 1998 al 2004 el incremento alcanzó las 466 hectáreas anuales (POE, 2007).

La siguiente tabla muestra la dinámica de ocupación de la ciudad en los diferentes periodos. La figura 6 muestra las etapas de crecimiento o expansión de la ciudad.

Tabla 2.- Dinámica de ocupación de Mexicali.

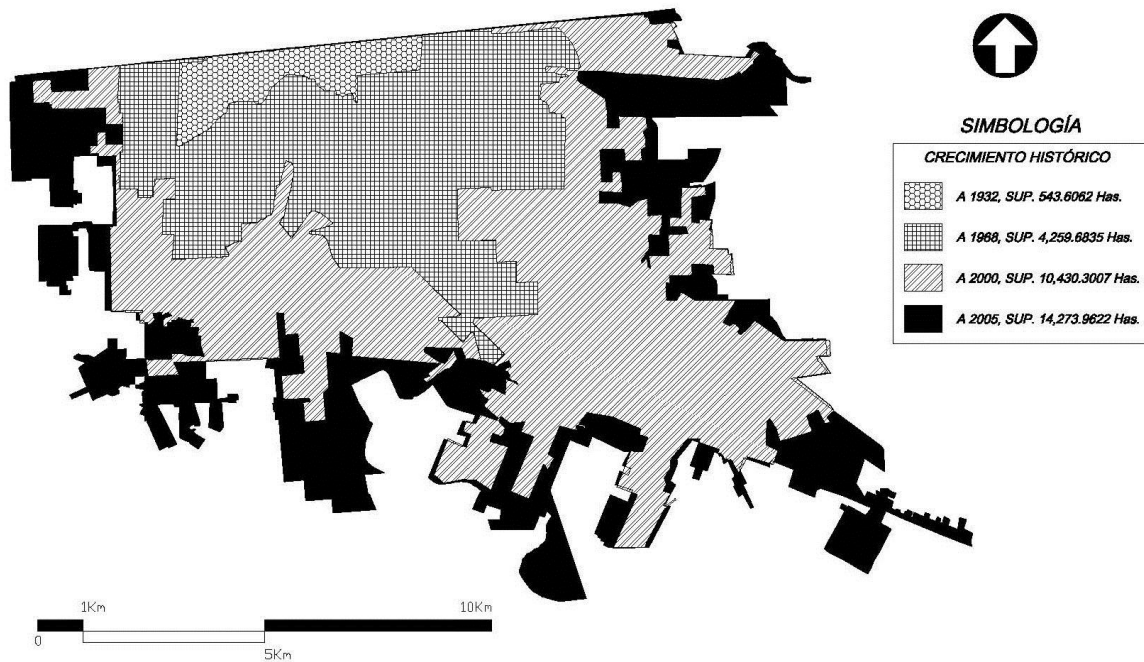
Periodo	Superficie (ha)	%
1900-1920	501.86	3%
1920-1940	792.46	5%
1940-1960	2,077.00	12%
1960-1980	4,219.57	24%
1980-1998	5,558.96	32%
1998-2010	4,329.15	25%
Superficie ocupada (2010)	17,479.00	100%

Fuente: Adaptación POE (2007) y datos de INEGI (2010).

Como se observa, la expansión de la ciudad se agudiza a partir de la década de 1980 con una ocupación de 9,888.11 hectáreas, que corresponden al 57% del total de la superficie

de la ciudad actual. El patrón de expansión tuvo las siguientes características: al sur desarrollos habitacionales de un nivel socioeconómico medio, hacia el este medio y alto; y al suroeste, oeste de un nivel socioeconómico bajo. En estos últimos se identifican asentamientos irregulares o en proceso de regularización los cuales no cuentan con los servicios básicos de infraestructura; es a partir de la década de 1990 cuando se comienza a presentar una mezcla en los usos del suelo industrial y habitacional.

Figura 6. Etapas de crecimiento de la ciudad.



Fuente. Elaboración propia con base en datos IMIP.

Este proceso de expansión se traduce en el incremento de colonias y de actividad industrial, así como una acumulación en el déficit en los sectores de infraestructura y servicios urbanos, provocando riesgos potenciales y situaciones conflictivas para la población residente, mostrando así un incipiente grado de integración de la ciudad, un aprovechamiento bajo del territorio y una distribución de población orientada hacia fuera de las áreas de inclusión del empleo (Leyva, 2009).

Espacialmente, la expansión urbana reciente en la ciudad se conforma de tres zonas importantes de crecimiento localizadas hacia la periferia. La primera de ellas se localiza al sureste de la ciudad conocida como Nuevo Mexicali, donde predominan los conjuntos habitacionales de interés social, parques industriales, centros comerciales y servicios; en

esta zona se localiza la nueva garita para el cruce fronterizo. La segunda zona al sur de la ciudad, en las inmediaciones de la laguna México y Xochimilco, donde las construcciones predominantes son fraccionamientos populares progresivos y de interés social con limitaciones en la dotación de infraestructura y servicios públicos. Por último la tercera zona, está localizada al poniente, orientada al desarrollo de fraccionamientos habitacionales populares progresivos y algunos de interés social y parques industriales. Al igual que la zona anterior, presenta limitaciones en dotación de infraestructura, comercio y servicios (Rojas, 2000).

2.4 Características urbanas

Mexicali es un conglomerado integrado por 14 sectores en una superficie de 17,479 hectáreas, dando como resultado una densidad de 39 habitantes por hectárea, indicando que Mexicali es una ciudad de expansión horizontal y que en las últimas etapas de expansión, ha incorporado sin restricción suelo de la periferia de la ciudad para los nuevos desarrollos habitacionales, lo que ha generado el aumento de baldíos y predios rústicos.

En relación a la vivienda, los resultados del censo de 2010 establecen que en la ciudad existen un total de 255,804 viviendas; esto es prácticamente 15 viviendas por hectárea. Sin embargo cabe hacer un breve paréntesis para mencionar el serio problema de la vivienda abandonada, que según datos del mismo censo de 2010 un total de 57,413 se encuentran en situación de abandono, cifra que aumenta a 63,500 viviendas según datos del Instituto Municipal de Investigación y Planeación Urbana de Mexicali (IMIP).

Más allá de la problemática financiera y hasta cierto punto social que produce esta situación de abandono, en este caso solo se hará referencia de lo que en términos territoriales esto significa. Si consideramos que la densidad promedio de cada nuevo fraccionamiento es de 45 viviendas por hectárea, las 57,413 viviendas que reflejan los datos del censo representan 1,276 hectáreas de suelo urbanizado, que en términos generales, representan el 7.79% del total de la reserva de suelo al 2025.

En cuanto a la densidad domiciliaria, en el 2010 se calculó en 3.5 habitantes por vivienda, cifra que en la década anterior fue de 4.18 hab/viv, y para 1990 y 1980 fue de 4.35 y 5.29 hab/ha respectivamente; lo cual demuestra por una parte una tendencia sostenida a la baja

en la ocupación de las viviendas, también hace referencia al número de integrantes por familia en la actualidad (INEGI, 2010; POE, 2007). En todo caso y en términos de esta investigación, es la referencia a la baja densidad como resultado del modelo de desarrollo urbano.

2.5 Uso del suelo

La fuerte tendencia histórica de la ciudad a crecer hacia la periferia ha dejado espacios intraurbanos subutilizados (tanto en espacio físico como en infraestructura), los cuales podrían dar solución a algunos problemas actuales, además de evitar la dispersión urbana. En cuanto a la dosificación de los usos, el PDUCP los categoriza de la siguiente manera:

Tabla 3.- Usos de Suelo PDUCP 2025.

Usos del suelo	Superficie (ha)	%
Habitacional	8,451.94	56.86
Comercio y servicios	820.61	5.52
Industria	900.34	6.06
Equipamiento urbano	908.80	6.11
Áreas verdes	298.93	2.01
Almacenamiento y servicios	68.30	0.46
Mixto	133.61	0.90
Corredores urbanos	592.25	3.98
Infraestructura	91.22	0.61
Vialidades, derechos de vía	2,415.36	16.25
Conservación	184.24	1.24
Superficie ocupada	14,865.60	100.00
Rustico	13,049.78	87.64
Grandes baldíos urbanizados	1,839.98	12.36
Grandes baldíos no urbanizados	1,890.19	9.16
Superficie disponible	5,767.92	27.95
Superficie total	20,633.52	100.00

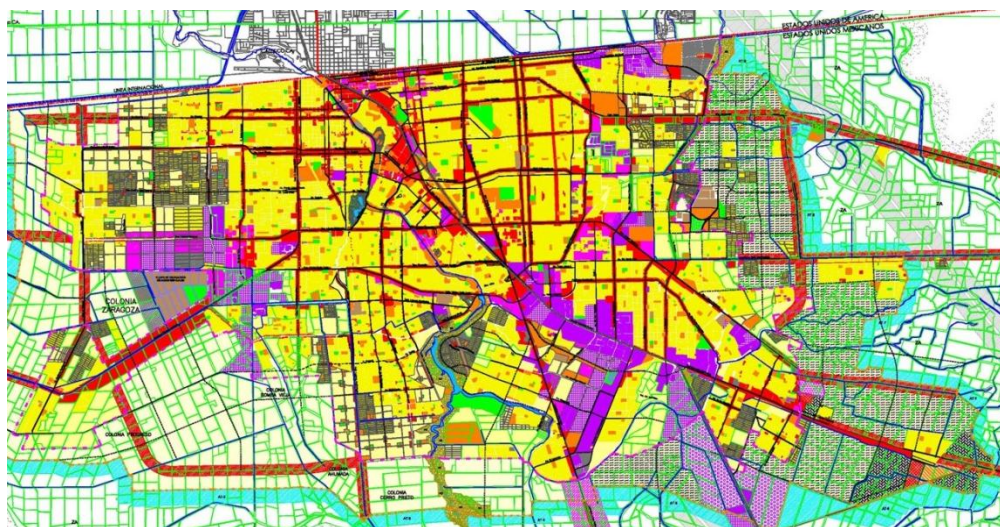
Fuente: Adaptación POE (2007).

Como se puede observar, la composición del uso del suelo en la ciudad es predominantemente habitacional representando este un 56.86% del área urbana; en

cuanto al uso industrial, las concentraciones son al este y sureste; el uso comercial y servicios este principalmente en el primer cuadro de la ciudad y al sureste. Los usos que han tenido un mayor incremento son el habitacional y el equipamiento como resultado de la política nacional de impulso a la vivienda.

En relación a la industria, en 2008 Mexicali contaba con 1,789 empresas correspondientes al sector de la industria manufacturera con 68,261 empleados, siendo uno de los sectores que más empleos genera en la ciudad (INEGI, 2009). Actualmente existen 25 parques industriales establecidos en 900 hectáreas, en su mayoría construidos entre 1980-1990 en lo que era la periferia de la ciudad. Sin embargo, debido a los resultados de la política de expansión de la ciudad, actualmente estas áreas industriales se encuentran prácticamente inmersas en la ciudad. En el siguiente mapa se puede identificar los distintos usos del suelo sobresaliendo de color amarillo el uso habitacional, de color rojo el comercial y de servicios y de color magenta (rosa) el destinado a la industria.

Figura 7.- Carta de usos de suelo PDUCP 2025.



Fuente: Adaptación POE (2007).

El uso del suelo es una variable importante en esta tesis debido a que desde el primer estudio de ICU en la ciudad se identificaron una serie de islotes de alta emisión térmica que coinciden con la ubicación de zonas con actividad industrial de comercio y servicios y contrario a lo anterior, los espacios de baja emisión o sumideros térmicos urbanos,

como las áreas verdes, unidades deportivas, cuerpos de agua, la periferia urbana con agricultura, representa una mínima superficie en la ciudad.

2.6 Áreas verdes

Al respecto, Pena-Salmón y Rojas-Caldelas (2009) establecen que la ciudad cuenta con alrededor de 140 hectáreas de áreas verdes públicas, superficie que representa una dotación de 2.1 m^2 por habitante, mientras que la normativa nacional establece 10 m^2 por habitante y la Organización Mundial de la Salud establece 9 m^2 por habitante, por lo tanto existe un importante déficit. Éste se refiere exclusivamente a áreas públicas en las cuales no se incluye: glorietas, camellones, isletas, áreas verdes privadas, ni escolares.

Según datos de la Dirección de Servicios Públicos Municipales, el ayuntamiento cuenta con 7.98 ha, de jardines y 40.28 ha, distribuidas en 56 parques vecinales (ver Tabla 4). Las áreas verdes más importantes por su extensión son el Bosque de la Ciudad con 37.41 ha, el Parque Vicente Guerrero con 11.58 ha, y la Unidad Deportiva Juventud 2000 con 8.20 ha, que en total suman 57.19 ha (POE, 2007). En relación a éstas, en el capítulo cuatro se identifican claramente como sumideros térmicos destacando su importancia en el tema.

Tabla 4.- Áreas verdes públicas PDUCP 2025.

Principales áreas verdes, recreativas y deportivas.	
A cargo del Estado	
Ciudad Deportiva	33.54 ha
A cargo del Ayuntamiento	
Jardines	7.98 ha
Parques	40.28 ha
A cargo de Patronatos	
Bosque de la Ciudad	37.41 ha
Parque Vicente Guerrero	11.58 ha
Juventud 2000	8.20 ha
Total áreas verdes =	138.99 ha

Fuente: Adaptación POE (2007).

2.7 Escenario de planeación y reserva territorial

El modelo de desarrollo urbano propuesto en el PDUCP busca: *“conformar un sistema polinuclear eficiente de enlaces y redes de infraestructura que soportan de manera equilibrada el desarrollo interurbano y el espacio periférico”* con el cual se pretende por una parte la adecuada relación entre la región y la ciudad y por otra, la conexión al interior de la ciudad entre los distintos centros y subcentros. Para ello se establece un límite para la expansión del área urbana al 2025 que cubre una superficie de 31,251 hectáreas, en las cuales se incluyen 16,385 hectáreas de reserva con diversos uso (habitacional, industrial, comercial y uso mixto); del total de la reserva para el crecimiento, sólo 5,767 hectáreas se ubican al interior del área urbana actual (POE, 2007).

Como se puede advertir, la visión del modelo de desarrollo del PDUCP es continuar la expansión urbana, mismo que hasta ahora ha provocado una forma de urbanización discontinua y de baja densidad, con áreas no urbanizadas entre zonas construidas y desarrollos de vivienda, dando como resultado una ciudad que demanda cada vez más suelo por habitante.

Cabe destacar que dicho modelo de desarrollo se orienta más a una visión metropolitana, la cual se lleva a cabo por medio de redes, y cuyo objetivo es mejorar la conectividad de sus nodos o subcentros y, al mismo tiempo, aprovechar las ventajas territoriales que se tienen como sistema metropolitano. Lo rescatable del modelo en relación al tema central de esta tesis, es la escala en que se abordan los temas metropolitanos, la cual difiere de un nivel de ciudad por un lado en la cobertura territorial la cual va más allá del área urbana, y por la necesidad de una visión intersectorial que permita diseñar estrategias de largo plazo. Temas como cambio climático, contaminación del aire, agua y saneamiento, que se desarrollan más allá de los límites de la ciudad y que no encuentran solución de manera sectorial, pasan a un escenario metropolitano el cual debe integrar intersectorialmente estrategias complejas en el espacio metropolitano.

Sin embargo, no hay que olvidar que la visión de desarrollo (disperso) propuesta en el PDUCP ocupa grandes extensiones de suelo que originalmente fueron utilizadas con fines agrícolas y que de cierta manera dan un servicio ambiental en la periferia de la

ciudad. Además, este tipo de desarrollo requiere de una gran inversión en infraestructura y servicios. Por ello autores como: Rodríguez (2007); Parussini (2012); Muñiz y García-López (2013) y Heinrichs, *et al.*, (2009) establecen que la dispersión urbana ha servido para aumentar la desarticulación de la ciudad aumentando el consumo de suelo y recursos naturales necesarios para conservar la calidad de vida de las ciudades. Razón por la cual, la planeación urbana debe establecer estrategias con una orientación ambiental y no solo dirigidas a aspectos relacionados con el uso del suelo como hasta ahora ha sucedido.

Por ello, los patrones de uso del suelo para el desarrollo urbano son “uno” de los desafíos que enfrenta la planeación urbana para abordar el tema de la mitigación y adaptación del cambio climático en las ciudades. A éste se le agregan, como comenta Bulkeley, *et al.*, (2009), la provisión de fuentes de energía de baja emisión de carbono (por ejemplo, renovables) y la mejora de la eficiencia energética de las zonas edificadas. Al respecto Sánchez-Rodríguez (2009a) comenta que resulta necesaria la conexión de los desafíos actuales del desarrollo urbano con el cambio climático como una herramienta eficaz para mejorar la atención a este importante reto de las sociedades.

Sin embargo, en la actualidad las respuestas urbanas al cambio climático se han centrado en la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero y sólo algunas ciudades (en países desarrollados) han comenzado a considerar parte de la adaptación dentro de sus respuestas al cambio climático.

Se debe dejar de considerar el crecimiento urbano sólo como el resultado de las fuerzas locales. Esta perspectiva es común en la planeación urbana y con frecuencia lleva a estrategias incompletas que buscan hacer frente a realidades complejas. También es importante tener en cuenta que el cambio climático, más que un problema ambiental, es fundamentalmente un problema de desarrollo de las sociedades (Sánchez-Rodríguez, 2009).

El mismo autor considera importantes las condiciones estructurales del desarrollo urbano y la forma en que interactúan con el cambio climático, ya que pueden convertirse en un instrumento que ayude a las sociedades a definir un futuro mejor. En este sentido, el tamaño, la forma, la estructura y la función de las zonas urbanas y sus trayectorias de

crecimiento futuro son elementos fundamentales a tener en cuenta en el debate sobre el cambio climático y la sustentabilidad de las sociedades.

Como se puede observar, la estructura y características del uso y cobertura del suelo son un factor esencial cuando se aborda el tema de la adaptación del cambio climático en áreas urbanas. En este sentido, los esquemas actuales de planeación y organización del espacio urbano en combinación con los sistemas constructivos actuales fomentan el calentamiento urbano; razón por la que los instrumentos de planeación deben contribuir con la sustentabilidad abordando las causas y los impactos potenciales del cambio climático como es la ICU.

A manera de concluir el capítulo, esta investigación busca a través de la modelación dinámica analizar el potencial de mitigación de la ICU, para posteriormente utilizando las mismas estrategias de mitigación analizar posibilidades de adaptación de la estructura urbana propuesta en el PDUCP, lo cual representa un insumo importante para las futuras actualizaciones de dicho instrumento.

Capítulo 3. Marco Metodológico

En este capítulo se presenta la metodología que permitió desarrollar la presente investigación, se muestran aspectos relacionados con su tipo, las técnicas y procedimientos utilizados. De manera general la base de esta investigación es la relación entre uso y cobertura del suelo y temperatura de superficie; con información obtenida a través de percepción remota manipulada con sistemas de información geográfica (SIG), con el propósito de desarrollar un modelo dinámico que relacione dicha información para posteriormente simular dicha relación.

El enfoque general de la investigación se orientó hacia la construcción de un modelo dinámico con el cual por una parte se analizaron las posibilidades de mitigación de la ICU y por otra, las posibilidades de adaptación de la estructura urbana futura (a un escenario al 2030 acorde con lo establecido en el PDUCE) con relación a las estrategias de mitigación, a través de la construcción de escenarios de cobertura y uso del suelo urbano. La elección de la modelación dinámica como herramienta de análisis se basa en la posibilidad de simular los aspectos de un sistema con atributos cambiantes en el tiempo –como son los aspectos urbanos.

Se utilizaron los patrones actuales de uso del suelo y su tendencia establecida en el programa de desarrollo urbano para generar escenarios de mitigación de ICU. Utilizar modelación dinámica para simular escenarios de mitigación y adaptación relacionados con el uso y cobertura del suelo permitió analizar diversas alternativas con las cuales se puede fundamentar una parte de la política de adaptación ante el cambio climático para la ciudad.

El marco metodológico propuesto se determinó a partir de los planteamientos teóricos orientados a la explicación del fenómeno de la ICU analizados con anterioridad. Se contempla desde un punto de vista primordialmente cuantitativo, sin que esto signifique dejar de tomar en cuenta los aspectos cualitativos inherentes a este fenómeno.

De acuerdo a lo anterior, para mitigar la ICU así como adaptar –configurar— el tejido o estructura urbana para aminorar su intensificación en el futuro, se requiere incorporar en los lineamientos de planeación urbana las estrategias de mitigación descritas en el primer capítulo, dirigidos a minimizar los impactos de la ICU en el patrón de crecimiento propuesto en los instrumentos de planeación urbana.

En este sentido, se generaron escenarios de dosificación de estrategias en el tejido urbano conforme lo establecido en el objetivo general de la investigación, el cual es: establecer la relación que existe entre los usos y cobertura del suelo y las posibilidades de mitigación y/o adaptación de la ICU en la ciudad a través de un esquema de planeación, utilizando herramientas como los SIG y la simulación dinámica.

Para abordar este objetivo en la investigación, se proponen tres etapas: la primera de ellas utiliza la teledetección y los sistemas de información geográfica para caracterizar y analizar las condiciones de cobertura, uso del suelo y temperatura de superficie, así como el potencial de aplicación de estrategias de mitigación-adaptación en el espacio urbano actual. La segunda etapa corresponde a la modelación dinámica, a través de la cual se generaron los escenarios que permitieron simular con relación al crecimiento urbano, los usos del suelo y su potencial de mitigación, las posibilidades de aminorar los efectos de la ICU en el futuro. Por último, en la tercera se utilizaron las herramientas anteriores para evaluar la estructura urbana propuesta en el Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Mexicali con un horizonte de planeación al 2030, el cual cabe señalar no incluye ninguna estrategia de mitigación y/o adaptación ante cambio climático.

Así el marco metodológico propuesto tiene dos componentes principales que, para fines de la investigación son complementarias: el primero utilizado entre otros por Voogt y Oke (2003); Roth, *et al.*, (1989); Gallo y Owen (1998), que se apoya en el uso y tratamiento digital de imágenes satelitales en particular la banda infrarroja térmica, la cual proporciona la variación térmica del territorio y con ello la información puntual y temporal de la cobertura del suelo y su comportamiento térmico al interior del espacio urbano.

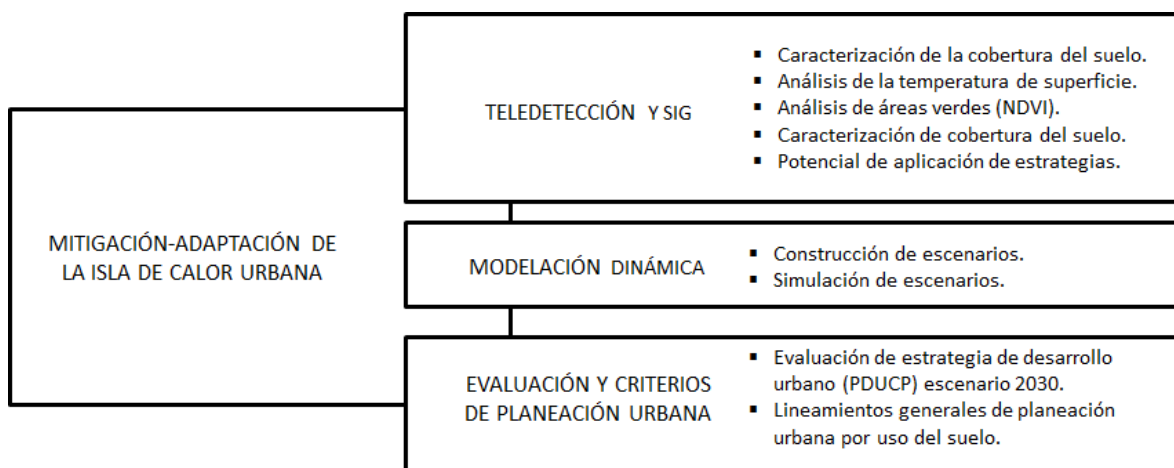
Los valores de temperatura obtenidos de la banda infrarroja, se utilizaron para establecer las características térmicas al interior de la ciudad, su distribución, así como una visión de las condiciones futuras de la ICU, las cuales se calculan con base en las distintas variantes que la estructura urbana ofrece, incluidas las estrategias de mitigación-adaptación. Traduciendo lo anterior en medidas de planeación urbana, pueden ser evaluadas en un entorno de simulación, motivos por los que en la actualidad esta tecnología representa uno de los principales métodos para la investigación del cambio climático.

Como segundo componente la modelación dinámica y simulación de escenarios, al respecto autores como Rosheidat y Harvey (2010) y Arnfield (2003) establecen que los modelos de simulación numéricos resultan ser útiles para evaluar escenarios de mitigación de ICU. El uso de estos modelos permite evaluar diferentes escenarios posibles con rapidez, convirtiendo a esta herramienta en una de las preferidas en climatología urbana. Como se puede observar, la modelación dinámica es una herramienta de simulación efectiva para analizar el proceso de transformación y crecimiento del espacio urbano, también para evaluar la conveniencia y efectividad de las estrategias de mitigación-adaptación ante la ICU utilizadas en esta investigación.

La ciudad –como espacio físico— se puede sintetizar como un espacio heterogéneo compuesto por una variedad de materiales y superficies, las cuales, al estar expuestas a la radiación solar, se calientan y éstas a su vez calientan la capa de aire que las rodea. Es por esto que el modelo dinámico desarrollado se configura a través de la estructura de usos y cobertura del suelo; así las diversas características de construcción y ocupación del suelo se convierten en parámetros que condicionan el espacio urbano, las cuales se traduce en variables adecuadas para ser tratadas en simulación.

En síntesis, se utilizará teledetección para conocer las características del espacio urbano, incluido su comportamiento térmico; y modelación dinámica para simular las condiciones de cambio de la estructura urbana en relación al uso y cobertura del suelo y su influencia sobre el clima de la ciudad.

Figura 8.- Marco metodológico.



Fuente: Elaboración propia.

3.1 Teledetección y sistemas de información geográfica (SIG)

En el transcurso de la última década se han hecho progresos considerables en las capacidades y la utilidad de los sistemas de información geográfica (SIG), lo cual ha determinado la utilización de éstos con fines de gestión y política urbana. En la actualidad, los SIG se consideran una herramienta de apoyo adecuada para el ordenamiento del territorio y la planeación urbana en la cual, a través de la cartografía, se detalla la información precisa del espacio urbano.

Sin embargo, aún cuando los SIG combinan el poder de las bases de datos y la manipulación gráfica, falta por desarrollar en ellos la capacidad de análisis espacial tal como: la organización, la dinámica y los procesos espaciales, así como la restructuración, transformación y cambio; conceptos que son centrales en estudios urbanos y regionales. Por ello, hoy en día una de las principales limitantes de los SIG es la posibilidad de modelación dinámica y espacial, útil en la preparación y evaluación de políticas territoriales (Engelen, *et al.*, 2002). Por tal motivo se incorpora la modelación dinámica al marco metodológico como un aspecto adicional al SIG.

El análisis a través de SIG en la actualidad se basa en operaciones básicas tales como: comparación, superposición, proximidad y *buffering*; lo cual limita las posibilidades de manejar modelos espaciales con dimensión temporal y dinámica de sistemas, capacidades esenciales para el análisis y evaluación de políticas urbanas ante cambio climático. Tal es el caso de sistemas complejos como la ICU, donde es necesario cuestionar la eficacia de las políticas de mitigación-adaptación, lo cual resulta en un análisis multivariante en tiempo y espacio.

Una característica esencial del espacio urbano es el uso y la cobertura del suelo. El primero hace referencia al tipo de actividad humana; de manera general, se puede decir que es uno de los factores que más condiciona la estructura y función de una ciudad: es resultado de una serie de circunstancias sociales y económicas que tiene importantes consecuencia sobre el medio ambiente urbano. El segundo ofrece una visión sobre el tipo de construcción y materiales utilizados en ella, el factor de ocupación del suelo, la existencia de vegetación y las características de temperatura de superficie –factor importante para esta investigación. Más aún, tanto el patrón de uso como el de cobertura del suelo son una característica dinámica del espacio urbano, esto es, cambia su función a través del tiempo configurando nuevos espacios, por lo que su caracterización y análisis representa un desafío en sí mismo.

En este sentido, la teledetección constituye la fuente de información para caracterizar la cobertura del suelo. Por otra parte, los SIG en la actualidad son la herramienta adecuada para integrar y analizar espacialmente la información. Motivo por el cual se utilizaron ambas en la investigación, en el caso particular de la teledetección para caracterizar la cobertura del suelo y la temperatura de superficie. En el caso del SIG, para la integración de la información y su análisis, principalmente: realizar un análisis cuantitativo para utilizarlo posteriormente en la construcción de escenarios, en la configuración del modelo dinámico y la simulación de dichos escenarios. Para ello las tareas realizadas en SIG son las siguientes:

- Caracterización de la cobertura del suelo.
- Análisis de la temperatura de superficie.
- Análisis áreas verdes (*NDVI*).
- Potencial de aplicación de estrategias.

3.2 Caracterización de cobertura del suelo

Para la realización de las tres primeras tareas se utiliza una imagen satelital tipo Landsat 8 del año 2013 de la siguiente manera. La caracterización de los patrones espaciales de cobertura del suelo se obtiene mediante clasificación supervisada utilizando las bandas 4, 6 y 7 en el software IDRISI 16. Los tipos de cobertura del suelo clasificados son: 1. Azoteas comunes: se caracterizan por estar construidas principalmente de concreto o madera e impermeabilizadas con cartón arenado, representa el sistema constructivo más común en la ciudad por lo cual se ubican prácticamente en todas las tipologías de edificación excepto en naves industriales y bodegas; 2. Azoteas metálicas: se ubican en edificios industriales y bodegas; están construidas a base de lámina de acero en diferentes acabados siendo los más comunes el color blanco y el acabado en zinc –metálico; 3. Asfalto: esta categoría incluye vialidades y estacionamientos; 4. Suelo desnudo: se refiere a los lotes baldíos al interior de la ciudad; por último la categoría 5. Área verde: en la cual se identifica todos los espacios que cuentan con vegetación.

3.3 Temperatura de superficie y análisis de área verde

El análisis de temperatura se obtuvo utilizando la función THERMAL que se incluye en el software IDRISI 16 y la banda 10 TIRS 1 de la imagen Landsat 8; esta función convierte la imagen térmica en datos de temperatura de cuerpo negro.

Por su parte, el análisis de área verde a través de NDVI se obtiene utilizando la función VEGINDEX que se incluye en el mismo software y las bandas 4 RED y 5 NIR de la imagen

Landsat 8; esta función convierte ambas bandas en un índice de vegetación. Finalmente se establecen las relaciones espaciales entre usos y coberturas del suelo, temperatura de superficie y área verde a partir de variados módulos de sistemas de información geográfica.

3.4 Potencial de mitigación

Para definir las posibilidades de aplicación de cada una de las estrategias de mitigación en la ciudad de Mexicali, se define el potencial de mitigación como resultado de la caracterización del suelo al identificar las superficies aptas para aplicar cada una de las estrategias y su relación con el uso del suelo. Expresado a manera de superficie, el potencial de mitigación refleja el porcentaje de cada uso del suelo que puede albergar cada estrategia.

Este potencial es utilizado posteriormente en la modelación dinámica para establecer la aplicación de estrategias a través del tiempo y, en conjunto con los escenarios contruidos, definen las posibilidades de mitigación-adaptación futura.

3.5 Modelación dinámica como instrumento de análisis

La modelación dinámica es una herramienta que ha sido utilizada en diferentes disciplinas de la ciencia, entre ellas, la planeación urbana. En general consiste en tomar un determinado sistema complejo e identificar los elementos que lo definen y cómo se relacionan estos elementos unos con otros. En el caso de esta investigación, se utilizó la modelación dinámica con la finalidad de simular la dinámica de cambio (expansión) del uso del suelo, así como las posibilidades de aplicar estrategias de mitigación o adaptación ante la ICU con base a la estructura de usos del suelo establecida en el PDUCP, de esta manera se establecieron las posibilidades de mitigación actuales y de adaptación futuras.

En este sentido, Sánchez-Rodríguez (2009) comenta que el proceso dinámico de crecimiento urbano no sólo debe tener en cuenta el ritmo de la construcción del entorno, sino también la forma en que se transforma en el tiempo. Además, el mismo autor sugiere como punto de partida para abordar el tema de cambio climático en zonas urbanas, considerar a éstas como sistemas dinámicos complejos en un espacio geográfico en donde los problemas y las contradicciones se hacen evidentes en su funcionamiento diario y por tipo de espacio urbano creado. Este enfoque ayuda a entender por qué en las ciudades existen muchos problemas asociados con el crecimiento, tal como se mencionó en el capítulo pasado.

Por ello, aún con los avances científicos y tecnológicos actuales, llevar a cabo un estudio de cambio climático y su relación con la ciudad es un camino lleno de incertidumbre, ya que no es posible predecir con precisión el comportamiento de los procesos naturales y antropogénicos complejos. Sin embargo, comenta Engelen, *et al.*, (2002) que a través de la modelación es posible estimular la reflexión y facilitar el debate sobre el estado futuro del sistema modelado, así como contribuir al entendimiento de la naturaleza y el comportamiento dinámico del mundo real como sistema.

Así, el modelo desarrollado por una parte contribuye con los métodos y procesos de planeación urbana actuales dando soporte a la toma de decisiones relacionadas con el tema del cambio climático en la ciudad. Por otra, sostiene que las estrategias de mitigación y adaptación deben reconocer la dinámica urbana para mantener su eficacia a corto plazo (mitigación) y en el largo plazo (adaptación), en donde la adaptación debe entenderse como un proceso de aprendizaje y no como un producto de una sola vez. En este sentido Engelen, *et al.*, (2002) comenta que la robustez y el éxito de un sistema espacial complejo (tal como una ciudad) dependen de su diversidad y el rendimiento en la escala micro; en otras palabras, en la suma de cada uno de sus componentes.

En este sentido, Akbari, *et al.*, (1999); Akbari y Rose, (2001a); Akbari y Rose, (2001b) proponen a través del método estadístico Monte-Carlo, la caracterización de distribución, tipo de superficies y porcentaje en la ciudad, con el fin de estimar su impacto sobre la calidad del aire y la temperatura de la ciudad.

Por su parte, Jusuf y Wong (2009), proponen en su modelo para predecir la temperatura del aire en Singapur, relacionar la temperatura (mínima, promedio y máxima) de un sitio con un radio de cincuenta metros, con la radiación solar diaria, el porcentaje de superficies pavimentadas, la altura promedio de construcción, la superficie total de muros, de área verde, así como el factor de apertura de cielo y el albedo promedio de superficie.

De manera similar Li, *et al.*, (2014) calculan la temperatura de superficie a través de un modelo que promedia sobre la temperatura de superficie impermeable y la temperatura de superficie vegetal. Del mismo modo, el flujo de calor sensible de una superficie lo promedian sobre la base de la parte impermeable y la parte vegetal.

Como se puede observar, 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 el uso del suelo y las características de cobertura del suelo en la ciudad, así como las posibilidades de implementar estrategias de mitigación ante la ICU. Al igual que el estudio realizado por Akbari, *et al.*, (1999), en esta investigación se estimó la temperatura de superficie bajo diferentes condiciones de cobertura del suelo de la siguiente manera:

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

Dónde: T es la temperatura y A es la fracción de la superficie total. De este modo las superficies cubiertas por vegetación presentaran una temperatura de superficie de 27° C; aquellas cubiertas con pavimentos frescos de 38° C; por su parte las azoteas frescas presentarán temperaturas de 35° C., y las azoteas verdes de 29° C. (Li, *et al.*, 2014; Lazzarini, *et al.*, 2013; Villanueva, *et al.*, 2008). 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.

El modelo fue desarrollado en STELLA® con el fin de simular el potencial de mitigación de la ICU bajo los parámetros antes mencionados, esto es, simular la aplicación de estrategias de mitigación y su efecto sobre la temperatura del aire. El modelo se desarrolló de forma modular, por lo que la integración de varios módulos constituye la estructura de usos del suelo de la ciudad. Los elementos principales del modelo son:

- Uso y cobertura del suelo.
- Estrategias de mitigación ante ICU.
- Escenarios de cambio climático local (PEACCBC, 2010).
- Incremento de la temperatura por ICU = $1.42 \log(\text{población}) - 2.09$ (Torok, *et al.*, 2001).
- Balance de temperatura, en relación con el uso y cobertura del suelo (enfocado a la implementación de estrategias).

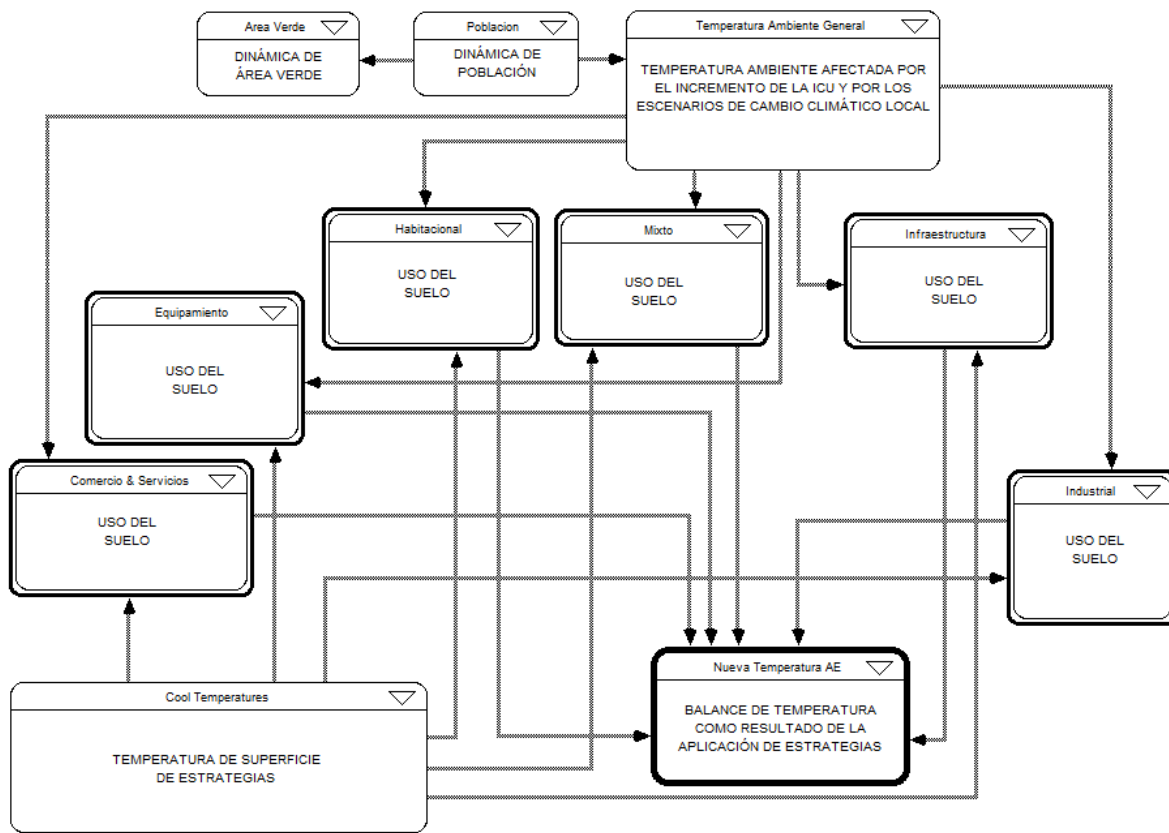
La construcción del modelo sigue las características con las cuales se representa el uso del suelo en los instrumentos de planeación. Por ello, utilizar la dinámica urbana a través del modelado de la estructura de expansión propuesta en el PDUCP proporcionó los datos necesarios para el análisis de las posibilidades de mitigación y adaptación de la ICU en la ciudad. De esta manera, el modelo, además de evaluar las posibilidades de mitigar los impactos ambientales ocasionados

por la ICU, permite delinear criterios de mitigación y adaptación necesarios en los instrumentos de planeación urbana y ordenamiento territorial.

Otra característica del modelo es su estructura flexible, la cual además de adaptarse a las características del uso del suelo de la ciudad, permite ampliarse para incorporar mayor información al modelo para su análisis. Un ejemplo de lo anterior puede ser la incorporación de un subsistema para analizar el incremento sistemático de la demanda de energía a consecuencia de la intensificación de la ICU.

La estructura general del modelo (Figura 9) se puede describir de la siguiente manera, se compone de once subsistemas de los cuales seis están orientados al análisis del potencial de mitigación y adaptación de la ICU por uso del suelo, esto es, los subsistemas: comercio y servicios, equipamiento, habitacional, mixto, infraestructura e industrial tienen la función de analizar a través del tiempo las posibilidades o potencial de aplicación de cada una de las estrategias de mitigación.

Figura 9.- Estructura general del modelo.



Fuente: Elaboración propia utilizando STELLA® 9.0.3

El subsistema de área verde tiene tres principales objetivos, el primero de ellos es analizar los requerimientos de área verde por habitante con base en la norma nacional, con ello se obtiene las necesidades de área verde conforme se incrementa la población con base en las proyecciones de INEGI. Otro objetivo es analizar el incremento de área verde como resultado de la dotación de parques de barrio en nuevos fraccionamientos, lo anterior con base en la donación destinada para tal uso establecida en el Reglamento de Fraccionamientos del estado de Baja California (POE, 1971). Así como analizar el balance de área verde total utilizando la tasa de incremento dada a la fecha, lo anterior proporciona una visión a largo plazo de seguir con el mismo patrón de creación de espacios verdes.

El subsistema de población, su función es proporcionar al sistema la dinámica de incremento de la población según la proyección del INEGI, información utilizada posteriormente en los demás subsistemas. Otro subsistema es el de temperatura ambiente general, el cual tiene las siguientes funciones, la primera de ellas es calcular el incremento de la temperatura por ICU según Torok, *et al.*, (2001). Otra función es la de incluir los escenarios de cambio climático B1 (emisiones baja) y A2 (emisiones altas) para Baja California. Por último, generar los valores de una nueva temperatura ambiente ajustada (afectada tanto por escenarios de cambio climático, como por la intensificación de la ICU) para integrarla al modelo.

Por su parte el subsistema de temperaturas frescas (*cool temperatures* en inglés) tiene la función de establecer los valores de temperatura para las distintas estrategias y sus superficies, con ellos se estima la temperatura de mitigación. Por su parte el subsistema Nueva Temperatura Ciudad tiene la función de calcular la nueva temperatura de la ciudad (generación de escenarios), esto es, el balance de temperatura como resultado de aplicar un escenario de mitigación. Para ello integra los resultados de los seis subsistemas orientados al análisis del potencial de mitigación y adaptación de la ICU por uso del suelo.

3.6 Evaluación de la estrategia de desarrollo urbano propuesta en el PDUCP

Los resultados obtenidos muestran la conveniencia de utilizar la modelación dinámica como una herramienta aplicable a la planeación urbana con enfoque hacia la mitigación y adaptación del cambio climático global. Con apoyo de esta herramienta se propone evaluar la estrategia de desarrollo urbano propuesta en el PDUCP, la cual cabe señalar carece de estrategias orientadas a

mitigar los efectos del cambio climático. Es por ello que resulta relevante una evaluación de este tipo.

Para su evaluación se estableció un escenario tendencial apegado a la dosificación del uso del suelo a un escenario del 2030, en el cual, sólo se considera el incremento de área verde como parte de la tendencia de crecimiento —no como estrategia de mitigación—, con ello, como ya se mencionó ha resultado en un importante déficit de áreas verdes en la ciudad.

Mitigar y adaptarse al cambio climático implica en esencia un cambio en la tendencia actual. En este sentido, en lo expuesto es evidente la intensificación de la ICU en Mexicali en el futuro y también es claro el papel de la planeación urbana como instrumento para evitarlo.

3.7 Criterios de adaptación orientados a la planeación urbana basada en uso del suelo

Con base en los resultados obtenidos se establecen criterios generales de adaptación ante cambio climático orientados a mitigar la intensificación de la ICU en la ciudad. Básicamente se harán propuestas de dosificación y ocupación de usos del suelo, esto es, pasar de un esquema de planeación urbana que sólo busca la “compatibilidad de usos” a uno que considere los efectos térmicos relacionados con el uso del suelo.

Para ello se utilizan las mismas estrategias de mitigación como base de los criterios de adaptación, buscando establecer una relación eficaz entre uso del suelo y superficie de estrategia (dirigida a minimizar la temperatura de superficie). Lo anterior debido a que los resultados obtenidos muestran que la mayor eficacia se obtiene al aplicar las estrategias de manera global distribuidas en todos los usos del suelo —de lo contrario, sólo se obtendrían resultados parciales o sectorizados.

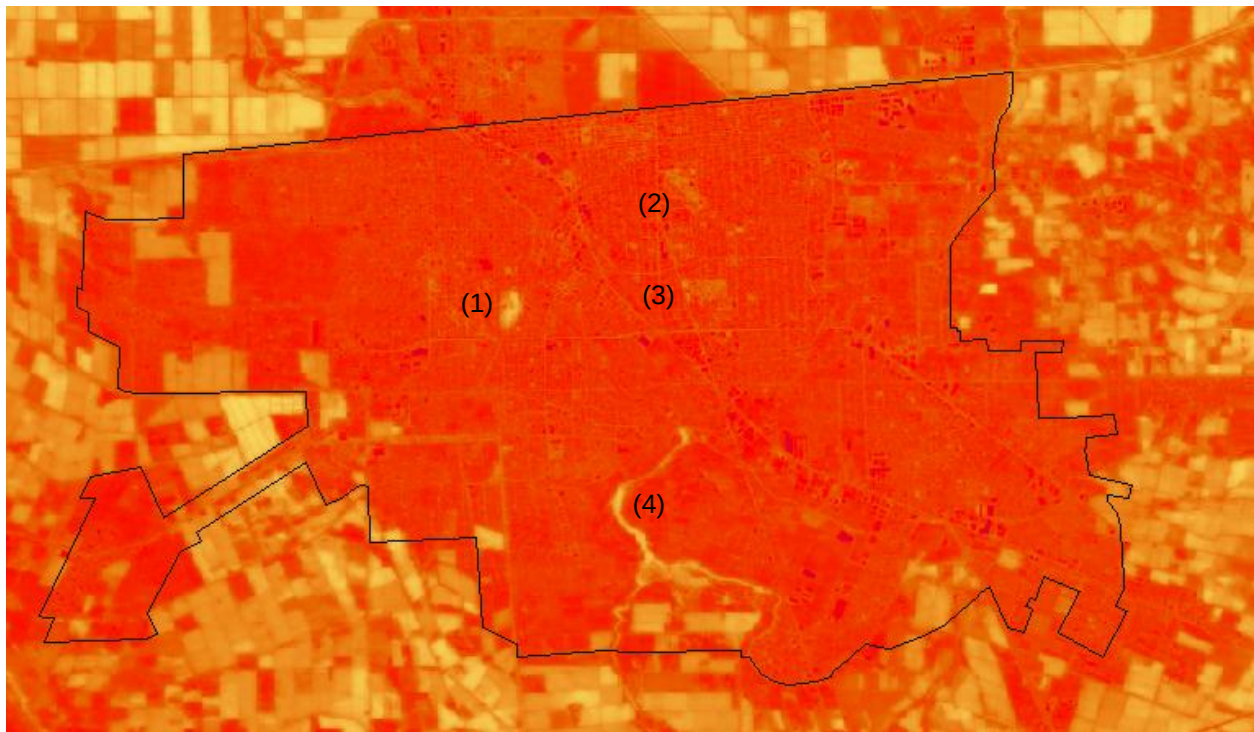
La manera en que los criterios contribuirán en el proceso de planeación urbana es en el sentido de tener la posibilidad de manejar opciones de dosificación de usos y coeficientes de utilización del suelo. El primero permitirá ir más allá del criterio actual de compatibilidad de uso del suelo, el cual sólo ha logrado islotes de alta emisión térmica; por su parte los coeficientes de utilización darán la pauta de establecer nuevas posibilidades de incorporación de áreas verdes y otras estrategias de sombreado que a nivel de microclima tienen una importante incidencia.

Capítulo 4. Caracterización y análisis del espacio urbano

Este capítulo es fundamental para comprender el posible comportamiento térmico futuro del área urbana de Mexicali. La correlación de cobertura y uso del suelo urbano con el comportamiento térmico. Se abordan por una parte la relación microclimática expresada a través de la ICU y el espacio urbano (sobre todo la denominada isla de calor urbana superficial que, como se indicó en el capítulo anterior, es resultado de las diferencias térmicas entre las superficies artificiales como los pavimentos y azoteas, y las naturales como las áreas verdes y los cuerpos de agua). Se aborda la relación que existe entre dicho comportamiento térmico y el proceso de planeación urbana, esto es, acercarse a un modelo de usos del suelo que considere la interacción ambiental (por lo pronto los aspectos térmicos superficiales) que el espacio construido genera.

Dado que la ICU como proceso es influenciado por los usos del suelo y sus diferentes tipologías de edificación presentes en la ciudad, es importante advertir como contribuye a que durante el día la temperatura superficial presente oscilaciones provocadas tanto por los contrastes entre zonas expuestas al sol y las sombras creadas por los edificios, como por la gran variedad de materiales presentes en el escenario urbano.

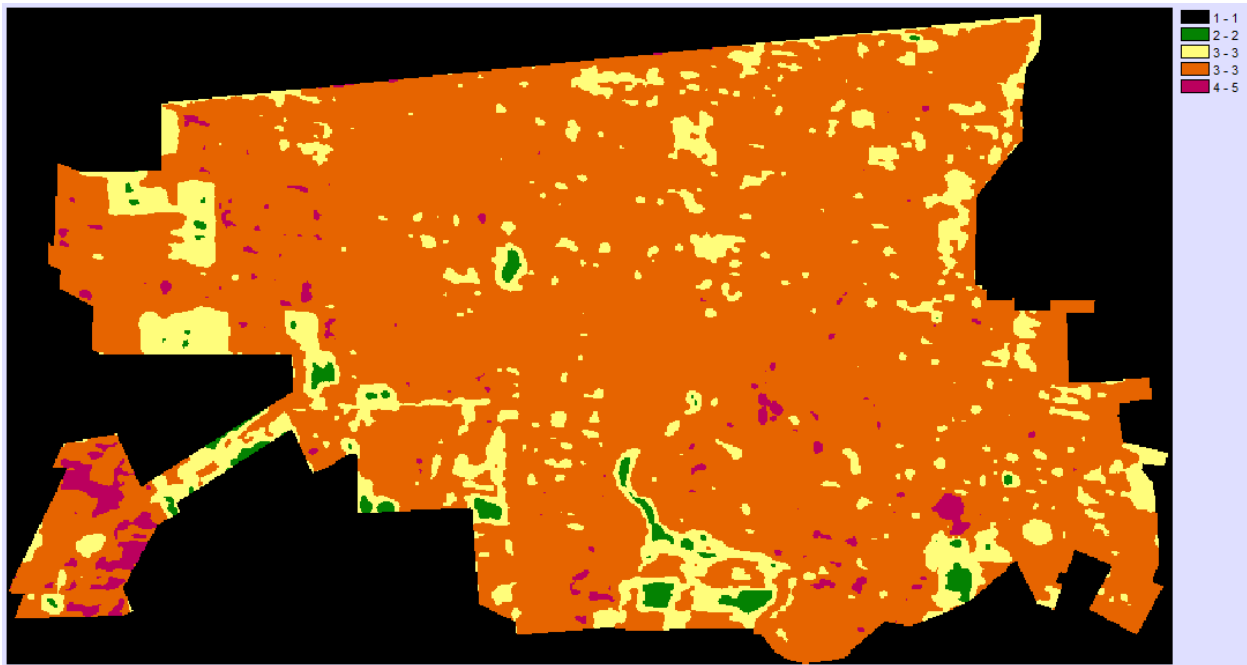
Figura 10. Conformación de la ICU.



Fuente: Elaboración propia.

En este sentido, la imagen anterior muestra la conformación de la ICU obtenida a partir de una imagen Landsat 8 del mes de junio del 2013. En ella se puede observar cómo el tejido urbano de Mexicali contrasta con sus alrededores por las altas temperaturas de superficie, también se pueden identificar cómo el Bosque de la ciudad (1) (área interurbana con mayor densidad de vegetación); la Ciudad deportiva (2); el campus de la UABC (3) y lagunas Xochimilco, México y Campestre, presenta importantes contrastes térmicos con el resto de la ciudad. Los mayores contrastes suceden tanto en el Bosque de la ciudad como los cuerpos lagunares al sur de Mexicali debido a los cuerpos de agua, los cuales contribuyen de manera importante al efecto de resumidero térmico. Así, los dos tonos de la imagen indican por una parte las altas temperaturas de la superficie urbana con color rojo, por otra, los sumideros térmicos y parcelas agrícolas con color anaranjado.

Figura 11. Rangos de temperatura superficial.



Fuente: Elaboración propia.

De manera general se pueden identificar cuatro rangos principales de temperaturas superficiales al interior de la ciudad (Figura 11), el primero (2) que oscila entre los 27 y los 34 grados Celsius representa el 1.2 por ciento del espacio urbano; básicamente se refiere a los sumideros térmicos al interior de la ciudad como son: el Bosque de la ciudad, la Ciudad deportiva, las áreas verdes y deportivas de la UABC, el campo de golf del club campestre, las lagunas Xochimilco, México y

Campestre, así como algunos remanentes de agricultura; el siguiente rango (3) de 35 a 41 grados Celsius representa el 13 por ciento del área urbana, se caracteriza por ser zonas al noreste y suroeste de la ciudad en donde la urbanización no se ha dado por completo; el siguiente rango (4) oscila entre los 42 y los 46 grados Celsius es el de mayor cobertura en la ciudad con un 84 por ciento, esto es, la homogeneidad en la composición del tejido urbano provoca una distribución de las altas temperaturas, prácticamente se distribuye en todos los usos del suelo haciendo referencia a zonas de la ciudad en donde la urbanización es total; por último, el rango de 47 a 50 grados Celsius el cual representa el 1.8 por ciento del espacio urbano en el cual se identifica claramente los corredores industriales.

Tabla 6. Rangos de temperatura de superficie.

Temperatura de superficie	Cobertura en la ciudad
Rango (2) de 27-34 (°C)	1.2%
Rango (3) de 35-41 (°C)	13%
Rango (4) de 42-46 (°C)	84%
Rango (5) de 47-50 (°C)	1.8%

Fuente: Elaboración propia.

Al respecto y como lo menciona Fernández y Martilli (2012), el clima urbano es un clima regional modificado y su caracterización se realiza en términos de comparación con su entorno próximo. A escala regional, la intensidad de estas modificaciones depende del tamaño y extensión de la ciudad; a escala intraurbana se observa un complejo entramado de microclimas diferenciados, debido al trazado y anchura de la red vial, los usos de suelo, los materiales del asfalto y edificios, así como por las diferentes alturas y orientaciones. Todo ello se logra apreciar claramente en la Figura 10, donde las características del tejido urbano contribuyen a la intensificación del fenómeno de la ICU.

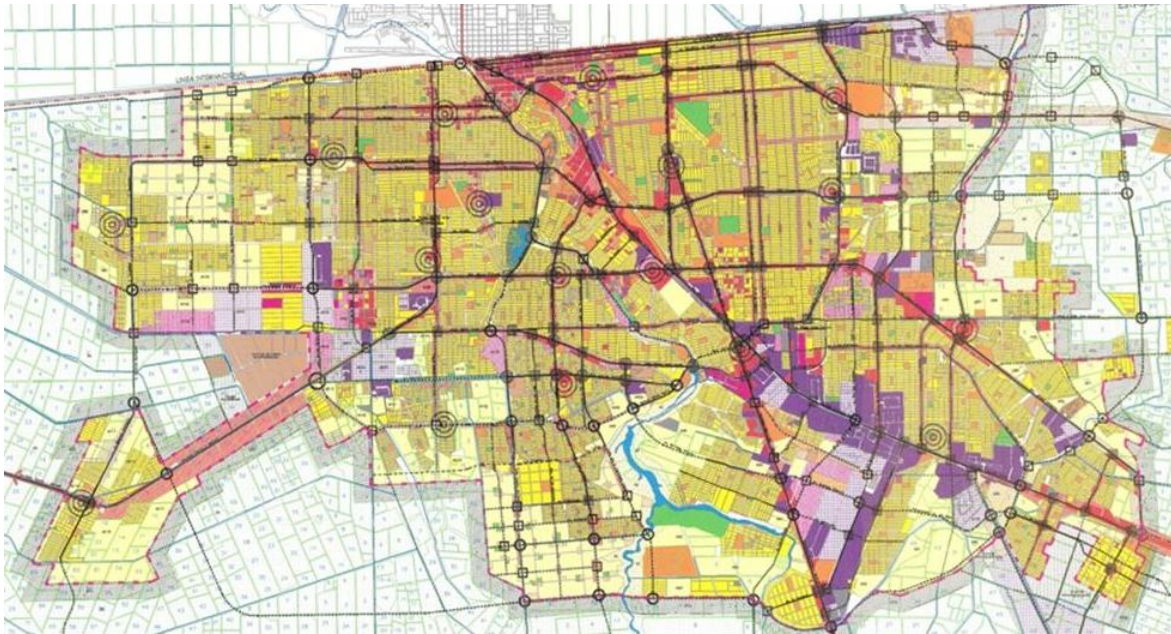
4.1 Usos y cobertura del suelo

Los cambios de cobertura y uso del suelo se han reconocido en muchos países como una de las principales causas de deterioro ambiental, por ello son un tema recurrente en la investigación ambiental y representan un punto importante en diferentes ámbitos como medio para entender los mecanismos de este proceso de deterioro y guía para la toma razonable de decisiones sobre el uso del territorio (Nájera, *et al.*, 2010). En este sentido, la urbanización es un proceso socioeconómico territorial que transforma la cobertura del suelo, la cual se encontraba originalmente ocupada en general por paisajes naturales o bien dedicados a actividades

agropecuarias. Por su parte la urbanización acelerada comenta Tang, *et al.*, (2008) transforma la estructura de las ciudades y afecta su climatología y la de su área circundante.

El crecimiento urbano que experimentó Mexicali en las últimas tres décadas deja de manifiesto un modelo de expansión del área urbana sin restricciones; en este periodo, la ciudad creció 11,494.28 hectáreas, esto es un promedio de 387 hectáreas anuales lo cual representa el 77% del área urbana actual. El mismo PDUCP indica que en el periodo de 1998 al 2004 la superficie del área urbana aumentó 39% y la superficie de ocupación en 22%, duplicando la superficie de baldíos de un 12% del total del área urbana a un 28% (Tabla 2).

Figura 12. Estructura urbana propuesta y usos del suelo.



Fuente: Adaptado del PDUCP (POE, 2007).

En relación a la distribución de los usos del suelo al interior de la ciudad (Figura 12 y Tabla 7), el uso habitacional es el predominante con un 57%, le sigue el uso industrial y el de comercio y servicios y el de equipamiento con 6% cada uno. Cabe destacar que se extrajeron las áreas verdes que representan el 2%, el uso mixto (almacenamiento, servicios industriales y comerciales) representa el 5%, por su parte el dedicado a la infraestructura es sólo del uno por ciento igual que el destinado a la conservación.

Tabla 7. Usos del suelo y reserva territorial 2025.

Uso	2004 (ha)	%	2025 (ha)	Reserva al 2025
Habitacional	8,452	57%	17,501	9,049
Comercio y servicios	821	6%	1,969	1,148
Industria	900	6%	2,188	1,287
Equipamiento	909	6%	1,787	878
Áreas verdes	299	2%	588	289
Infraestructura	91	1%	176	85
Vialidades principales	2,415	16%	4,668	2,252
Mixto	794	5%	2,063	1,268
Conservación	184	1%	313	128
TOTALES =	14,866	100%	31,251	16,386

Fuente: Adaptado del PDUCP (POE, 2007).

De manera general se puede decir que el PDUCP establece un escenario de expansión urbana en 210% al considerar una tasa de crecimiento anual promedio del 10% por cada uso del suelo (Tabla 8). Esto demuestra que el modelo de planeación urbana vigente incentiva la expansión urbana dispersa, lo contrario a la teoría actual sobre la ciudad que persigue la sustentabilidad en ambientes urbanos compactos (Quintero y Gómez, 2012).

Tabla 8. Escenario de expansión urbana por uso al 2025.

Uso	2004 (ha)	2025 (ha)	Expansión al 2025	Tasa de crecimiento anual
Habitacional	8,452	17,501	207.1%	9.9%
Comercio y Servicios	821	1,969	239.9%	11.4%
Industria	900	2,188	243.0%	11.6%
Equipamiento	909	1,787	196.6%	9.4%
Áreas Verdes	299	588	196.7%	9.4%
Infraestructura	91	176	193.2%	9.2%
Vialidades Principales	2,415	4,668	193.2%	9.2%
Mixto	794	2,063	259.7%	12.4%
Conservación	184	313	169.6%	8.1%
TOTALES =	14,866	31,251		

Fuente: Adaptado del PDUCP (POE, 2007).

En relación a la cobertura del suelo, son dos los procedimientos realizados. El primero orientado a caracterizar de manera general el espacio urbano utilizando las siguientes características: 1. Azoteas comunes (construidas principalmente de concreto o madera e impermeabilizadas con cartón arenado), 2. Azoteas metálicas, 3. Asfalto, 4. Suelo desnudo (Baldíos) y 5. Área verde; para ello se realizó una clasificación supervisada con las bandas 4,6 y 7 de la imagen Landsat 8 utilizada con anterioridad y el algoritmo de clasificación MAXLIKE incluido en el software

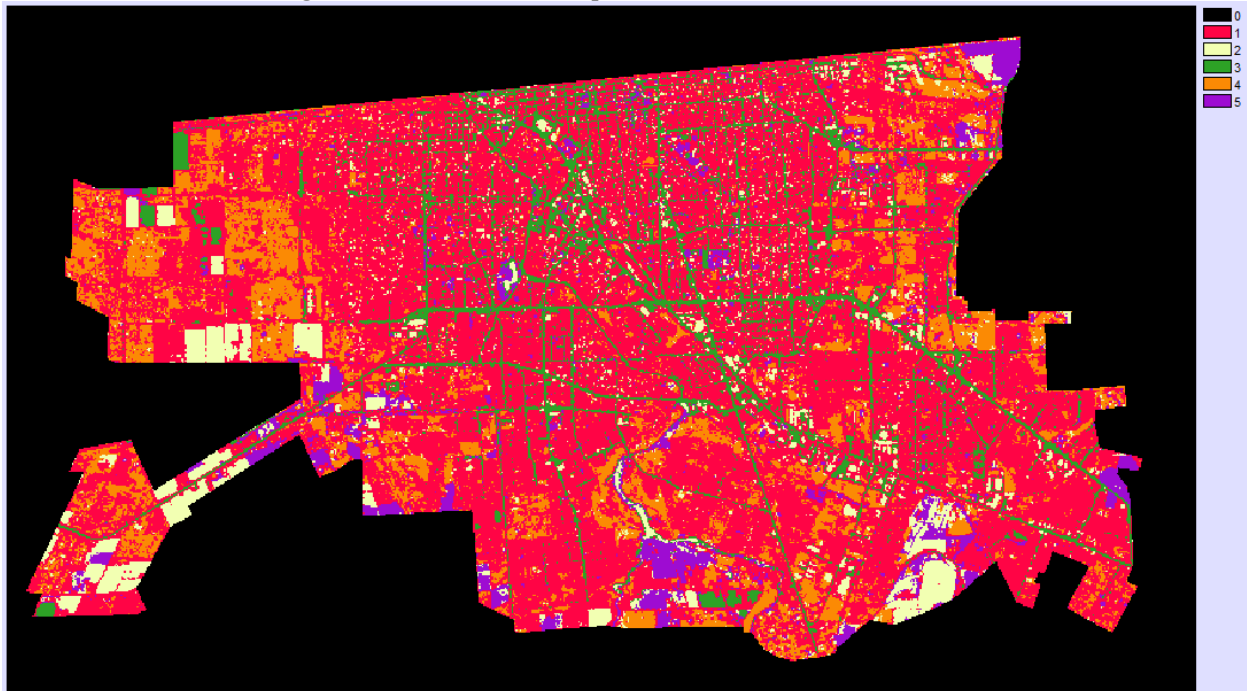
IDRISI 16 (Figura 13). La siguiente tabla muestra el resumen de los resultados encontrados por característica y, como se puede observar, más del 70% del espacio urbano está cubierto por azoteas y sólo el 4.9% tiene una cobertura vegetal.

Tabla 9. Características de cobertura del suelo.

Características de cobertura	Superficie (ha)	%
1. Azoteas comunes	13218.30	64.1%
2. Azoteas metálicas	1416.60	6.9%
3. Asfaltos	2106.36	10.2%
4. Suelo desnudo	2863.17	13.9%
5. Área verde	1003.05	4.9%
TOTAL =	20607.48	100.0%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Clasificación supervisada de cobertura del suelo.



Fuente: Elaboración propia.

El segundo procedimiento se realizó con el objetivo de contar con mayor información de la cobertura vegetal en la ciudad, para ello se utilizó el algoritmo para obtener el índice de vegetación de diferencia normalizada (*NDVI* por sus siglas en inglés) (Figura 14). Al igual que la clasificación anterior, se utilizó la imagen Landsat 8 y el software IDRISI 16. Como resultado de este procedimiento se encontró que la superficie cubierta con vegetación en la ciudad es mayor que la identificada con la clasificación supervisada, lo anterior debido a que el *NDVI* identifica

áreas con cobertura vegetal de menor superficie como son: los jardines privados, camellones y glorietas.

El contar con mayor información de la distribución de las áreas verdes permite conocer la relación que existe entre ellas y los usos del suelo, y con ello establecer un indicador que relacione ambas variables (uso del suelo-área verde) el cual permita definir patrones verdes en la ciudad. Por otra parte y considerando hasta lo aquí expuesto, 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 resto de la ciudad.

Figura 14. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).



Fuente: Elaboración propia.

4.2 Áreas verdes

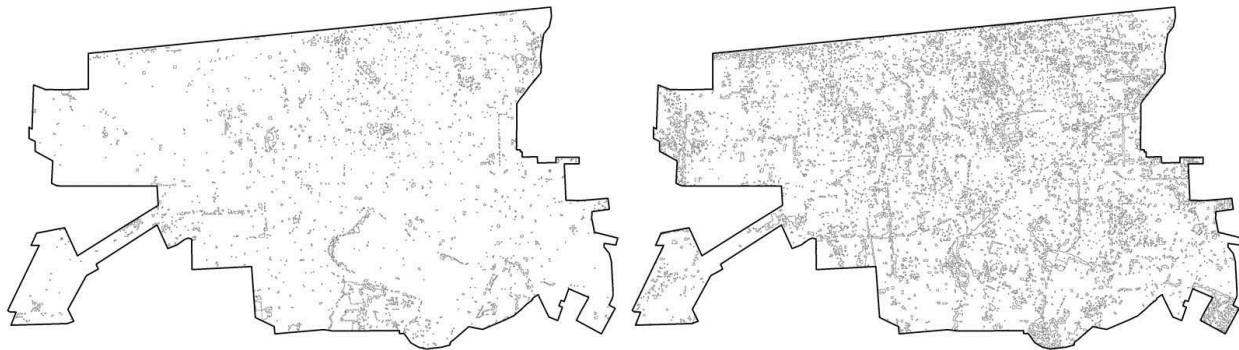
Teniendo en cuenta lo expresado hasta aquí, se puede comprender el papel que desempeñan las áreas verdes urbanas en el microclima de las ciudades: la vegetación tiene la capacidad de absorber energía radiante a través de la transpiración, motivo por el cual las áreas urbanas cubiertas con vegetación presentan temperaturas más frescas y húmedas que sus alrededores; por otro lado, la vegetación también funciona como filtro de aire, absorbiendo contaminantes de la atmósfera y del suelo. Sin embargo, la conformación de los espacios verdes en la ciudad se ha

llevado a cabo desde la función ornamental, sin tomar en cuenta que los espacios con vegetación en la ciudad interactúan con la atmósfera convirtiéndolos en un regulador ambiental (De Frutos y Esteban, 2009; Gómez, 2005).

En relación a lo anterior, Pena-Salmón y Rojas-Caldelas (2009) señalan el importante déficit de áreas verdes que tiene Mexicali, dado que cuenta sólo con alrededor de 140 hectáreas de áreas verdes públicas, superficie que representa una dotación de 2.1 metros cuadrados por habitante, mientras que la normativa nacional establece diez metros cuadrados por habitante y la Organización Mundial de la Salud establece nueve metros cuadrados por habitante; por lo tanto, existe un importante déficit.

En este sentido y con relación a los resultados obtenidos de ambos procesos descritos con anterioridad, en la siguiente imagen (Figura 15) se puede observar la diferencia entre los resultados del proceso de caracterización supervisada (izquierda) y el *NDVI* (derecha). Posteriormente, en la tabla 10 se muestra la relación de dichos resultados con el uso del suelo en la ciudad.

Figura 15. Comparación de resultados entre caracterización supervisada y *NDVI*.



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10. *NDVI* y cobertura por uso del suelo.

Uso del suelo	Superficie (ha)	%
Habitacional	754.5926	70.8
Comercio y servicios	87.5410	8.2
Industrial	28.0698	2.6
Equipamiento	180.0590	16.9
Mixto (almacenamiento y servicios)	14.8699	1.4
TOTAL =	1,065.1323	100.0%

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del *NDVI* muestran que son las zonas habitacionales las que cuentan con mayor área verde con un 70.8% como resultado de incluir los jardines privados, le sigue el equipamiento con 16.9% en el cual se incluyen los espacios verdes públicos. Resulta importante destacar la baja cobertura vegetal que contienen los espacios destinados a la industria, el comercio y los servicios; los cuales generan mayores emisiones térmicas.

Más aún, al contrastar los resultados del *NDVI* con los de la *ICU*, se encontró que sólo las áreas verdes consolidadas logran tener incidencia sobre la temperatura de sus alrededores (sumideros térmicos). Lo anterior permite adelantarnos a las estrategias finales y establecer que son las áreas verdes consolidadas (como los parques urbanos) las que logran un servicio ambiental considerable en términos de mitigación-adaptación ante la *ICU*.

4.3 Potencial de mitigación

Establecer el potencial de mitigación permite, por una parte, llegar a una especie de síntesis resultado de los análisis realizados; por otra, nos ofrece información para configurar el modelo dinámico y con éste pasar a la siguiente etapa de la investigación en la cual se pueda evaluar las posibilidades de mitigación presente y adaptación futura de la *ICU* en Mexicali.

En el segundo capítulo, entre otros aspectos, se describen las características del uso del suelo en la ciudad; reflejando que el uso habitacional predomina ocupando el 56.86% del área urbana, le siguen las vialidades y derechos de vía con 16.25%, el uso destinado al equipamiento con 6.11%, el uso industrial con 6.06%, con 5.52% el uso destinado al comercio y los servicios, por mencionar los más representativos. De lo anterior se puede observar que debido a la proporción de ocupación del suelo al interior de la ciudad, el uso habitacional debería ofrecer mayor potencial, después el de comercio y servicios, el industrial y el de equipamiento. Sin embargo, resulta que no sólo es por ocupación proporcional de territorio como se muestra a continuación.

Tabla 11. Potencial de mitigación por uso del suelo.

Uso	Potencial azoteas	Potencial pavimentos	Potencial área verde
Habitacional	52.4%	5.6%	9.6%
Comercio y servicios	6.2%	2.2%	0.6%
Industrial	6.9%	1.2%	1.5%
Equipamiento	7.0%	1.4%	1.8%
Mixto	0.8%	0.3%	0.4%

Fuente: Elaboración propia.

El uso habitacional ofrece un potencial de 11,813 ha para el año 2030, esto es el 67.5% de área urbana conforme a la proyección de expansión del PDUCP; el uso destinado al comercio y los servicios ofrece por su parte un potencial global de 9.1% al 2030, esto es 179 ha; el industrial para el mismo periodo un 9.6% que representan 210 ha; por su parte el destinado al equipamiento un potencial de 10.2%, esto es 182 ha; por último el uso mixto ofrece un potencial de 1.5% al 2030 lo cual representa 31 ha.

En un primer acercamiento lo anterior se advierte la importancia del uso habitacional en la conformación de las estrategias de mitigación-adaptación, pero también ofrece un panorama de las posibilidades que ofrece cada uso del suelo en el tema y que en el siguiente capítulo quedará de manifiesto.

4.4 Morfología urbana y su relación con la ICU

Estudios como los realizados por Oke a 150 ciudades de Canadá y Estados Unidos, han demostrado que el proceso de urbanización modifica las características térmicas de la ciudad, debido a que la morfología urbana en conjunto con las superficies artificiales que la conforman se convierten en captadores-almacenadores de energía térmica (Perico-Agudelo, 2009).

Por ello a lo largo de esta investigación se ha destacado la intrínseca relación entre crecimiento urbano y clima. Lo anterior ha permitido construir un contexto de trabajo en el cual sea posible la integración de la temperatura (variable climática) con las de uso del suelo en los procesos de planeación urbana, y con ello, contribuir a la discusión sobre el modelo actual de urbanización y los nuevos modelos de planeación de la ciudad desde los enfoques de cambio climático y sustentabilidad.

En este sentido y con el fin de establecer una línea base o punto de partida en la evaluación de las posibilidades de mitigación y adaptación de la ICU en el futuro, se analizó la estrategia de crecimiento urbano propuesta en el PDUCP (Figura 16). Para este escenario tendencial sólo se considera el incremento de área verde como parte de la tendencia de crecimiento –no como una estrategia de mitigación—, lo anterior, como ya se mencionó, ha resultado en un importante déficit de áreas verdes en la ciudad.

La evaluación se realizó con el modelo desarrollado en el *software* Stella© descrito en el capítulo anterior (marco metodológico). Los resultados muestran de manera general un aumento en la temperatura en 2° C bajo el escenario de crecimiento urbano tendencial (línea 1-2 Figura 16),

como lo sugieren los diversos estudios revisados en el primer capítulo. En definitiva el esquema de expansión territorial propuesto en el PDUCP contribuye a la intensificación de la ICU y con ello al incremento de los problemas relacionados con la calidad ambiental de la ciudad y los relacionados con el cambio climático.

Figura 16. Escenario tendencial de crecimiento urbano y temperatura.



Fuente: Elaboración propia con base en datos del PDUCP (POE, 2007) e INEGI (2010). Donde: línea 1-2 representa el aumento de la temperatura debido a la intensificación de la ICU; por su parte la línea 3, hace referencia a la expansión urbana en hectáreas.

Más aún, Correa, *et al.*, (2003) comentan que estudios llevados a cabo en la última década correlacionan el consumo de energía con el efecto de la ICU concluyen que para ciudades con más de 100 000 habitantes los consumos de energía en las horas pico se incrementan 1.5 a 2% por cada grado que se incrementa la temperatura. Además de favorecer el aumento de la contaminación ambiental de dos maneras: directamente, dado que mayores temperaturas urbanas funcionan como catalizador de las reacciones de los gases de combustión presentes en la atmósfera generando mayor cantidad de smog; e indirectamente, pues el aumento de consumo de energía hace que las plantas generadoras liberen mayores cantidades de gases de combustión (CO_2 , CO , NO_x , SO_x , vapor de agua y metano), los cuales son responsables del calentamiento global o efecto invernadero y de la lluvia ácida.

Esta primera evaluación sólo representa una línea base necesaria para realizar comparaciones de los resultados en el siguiente capítulo; sin embargo, deja ver claramente la necesidad de pensar en esquemas de planeación urbana que ofrezcan otras opciones de dosificación de usos y coeficientes de utilización del suelo que permitan ir más allá de la política actual de compatibilidad de uso del suelo, la cual sólo ha generado un espacio urbano homogéneo de alta emisión térmica.

Capítulo 5. Construcción de escenarios y modelación dinámica

Este capítulo describe por una parte la construcción de escenarios de mitigación y adaptación de la ICU para Mexicali por otra, muestra el comportamiento del modelo como resultado de la aplicación de los datos base tales como: el uso del suelo actual y futuro establecido en el PDUCP, las proyecciones de población de INEGI-CONAPO y el área verde actual y futura conforme a tres indicadores. También presenta una visión de futuro conforme a la política actual de consolidación urbana de la SEDATU.

En cuanto al modelo (descrito en el capítulo pasado) parte de la base de planeación urbana y expansión territorial expresada comúnmente en los programas de desarrollo urbano de centro de población (PDUCP), los cuales son los instrumentos normativos para la administración territorial de cualquier ciudad. En este sentido, cabe señalar que la planeación urbana (por lo menos la realizada en México) es esencialmente retrospectiva y como menciona Fuentes (1995: 10), más que utilizarla con fines deliberados de cambio, genera una tendencia por desarrollar medios de racionalización y coordinación formal del Estado. Por ello este modelo de planeación difícilmente permite un cambio de dirección (un cambio de paradigma como es necesario en temas de sustentabilidad y cambio climático); en cambio, pretende utilizar una planeación prospectiva que tiene sus raíces en el enfoque de sistemas y se caracteriza por la manera en que considera a los problemas y al futuro (Fuentes, 1995: 14), permite establecer el futuro deseado tan abiertamente como sea necesario y en consecuencia, analizar sus posibilidades actuales y futuras.

La aplicación de la prospectiva en la planeación urbana, comenta Ramírez (2004), se ha dado en otros países como respuesta a la necesidad de ver con mayor claridad el futuro de las ciudades en un mundo lleno de incertidumbre y donde los efectos de las crisis son una realidad cada vez más frecuente. Así, la prospectiva como herramienta de análisis o de planeación ofrece una oportunidad para superar las limitaciones y contradicciones que plantea una visión a corto plazo, permitiendo adoptar opciones que suponen una ruptura con el pasado y con ello un cambio de paradigma.

Para ello el mismo autor comenta que la afirmación fundamental de la prospectiva es que “hay varios futuros posibles”. Comprender su significado y alcance resulta indispensable para

visualizar el eje central de esta disciplina que construye escenarios futuros de largo plazo de la sociedad, las regiones y las organizaciones.

Abordar la problemática de la ICU a través de la construcción de escenarios futuros de mitigación y adaptación en la ciudad y posteriormente simular su comportamiento en prospectiva, permitió conocer de manera general las posibilidades de aminorar esta problemática ambiental.

5.1 Modelo de desarrollo urbano, mitigación y adaptación de la ICU

A partir de la segunda mitad del siglo XX las zonas urbanas crecieron de manera desordenada y descontrolada sin considerar el impacto territorial y urbano; este crecimiento no necesariamente se dio como respuesta a las necesidades de la población. Por ello en México, una cantidad importante de planes de desarrollo urbano establecen superficies de suelo urbanizable muy superiores a las necesidades en el largo plazo; lo anterior, además de generar especulación del suelo, impide transitar hacia un modelo de ciudad compacta (DOF, 2013).

Los resultados de esta política urbana neoliberal provocaron una estructura urbana dispersa, con un sistema de transporte público deficiente y una dotación de infraestructura cada vez más costosa. Por ello, diversos autores cuestionan el modelo de desarrollo urbano disperso por las múltiples consecuencias como la poca concentración de población, el desplazamiento, la poca relación con el centro urbano, el impacto ambiental, entre otros temas. Además de lo anterior el Centro de Transporte Sustentable de México establece que el modelo actual de crecimiento urbano en nuestro país contribuye al aumento de las emisiones de carbono (CTS, 2010).

Por su parte, Cabrera (2008) comenta que el suelo en las ciudades ha perdido su función social y se ha mercantilizado en extremo, esto ha limitado las posibilidades del Estado para destinar suelo de manera directa para usos y funciones urbanas prioritarias, entre las que se encuentra actualmente la infraestructura verde un factor importante cuando se habla de mitigación y adaptación ante el cambio climático (incluida la ICU).

En este sentido y haciendo referencia a la consolidación del espacio urbano a través de la gestión del suelo, resulta necesario no perder de vista la importancia del proceso de planeación urbana como parte de la decisión gubernamental a través de la cual se decide por una parte el área de

crecimiento o expansión de la ciudad, así como la ubicación de vivienda, comercio e industria, la dotación de infraestructura y ubicación de equipamiento.

Así el proceso de planeación urbana supone un procedimiento endógeno y territorialmente específico “la ciudad”. Por su parte, los procesos de mitigación y adaptación al cambio climático suponen otras escalas además de la urbana, que en conjunto deben contribuir a reducir la vulnerabilidad y el riesgo y a tener un mejor manejo de los recursos naturales. Por lo tanto, para que se produzca algún tipo de avance genuino en la neutralización de los riesgos del cambio climático, las medidas de adaptación al cambio climático deben integrarse a la planeación del desarrollo de los centros urbanos (ONU-Hábitat, 2011).

En este sentido, tanto la Guía Municipal de Acciones frente al Cambio Climático (SEDESOL, 2012) y el Centro de Transporte Sustentable (CTS, 2010) recomiendan la mezcla de usos compatibles en sus programas de desarrollo urbano; ello, además de desincentivar el uso del automóvil asociado a las emisiones de gases efecto invernadero, contribuye a conformar espacios urbanos mayor densificados y con mayor intensidad de uso. Esto a su vez, permite mayores posibilidades de diseño del espacio abierto para generar microclimas confortables que además contribuyan a incrementar la superficie de área verde.

Los resultados encontrados en el estudio Hacia Ciudades Competitivas Bajas en Carbono (CTS, 2010) muestran la relación entre una ciudad densa y una mayor aportación de superficie de área verde; además, este tipo de ciudades suelen estar mejor dotadas de parques y jardines que los grandes desarrollos habitacionales periféricos, los cuales dada su estructura vial generan grandes áreas de cubiertas por asfalto, lo cual intensifica el efecto de la ICU.

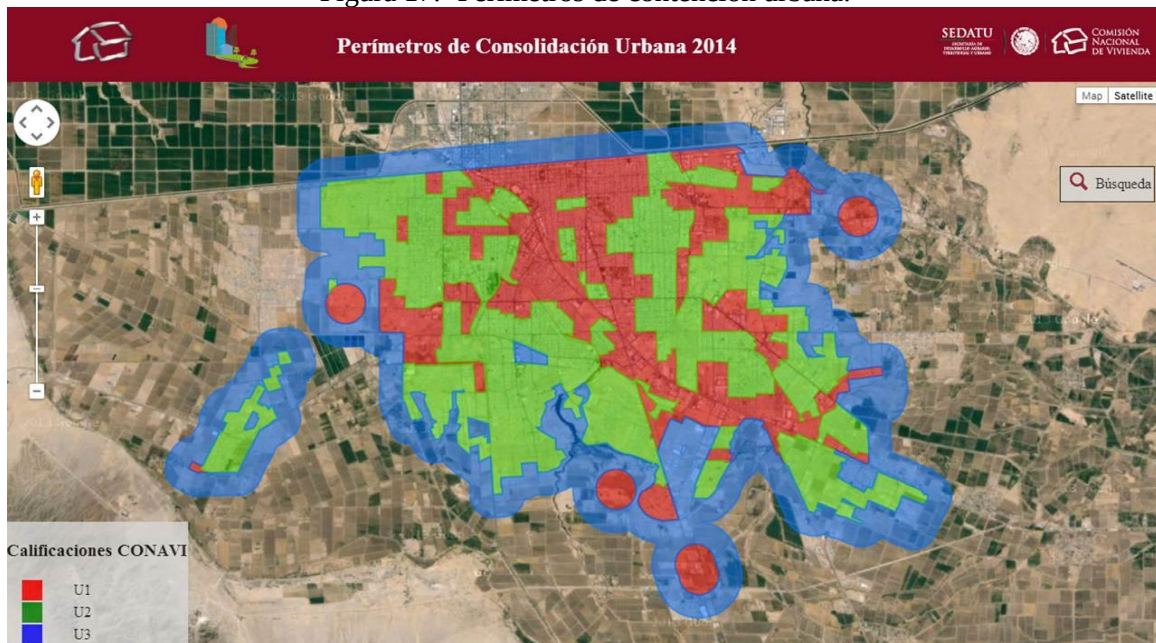
Al respecto cabe mencionar la nueva política nacional de desarrollo urbano y ordenamiento territorial impulsada por la SEDATU, la cual busca contener la mancha urbana de las ciudades mexicanas y con ello; aprovechar de manera óptima la infraestructura y equipamiento urbano instalado, impulsar la ocupación de baldíos interurbanos, optimizar el uso del suelo a través de la densificación y espacios recreativos, así como impulsar el mejoramiento de barrios con el fin de reutilizar el espacio urbano existente. La estrategia que acompaña a esta política se desarrolla en tres tipos de unidad territorial: la primera de ellas se define a partir de los indicadores de empleo de CONAPO y el sistema urbano nacional; la unidad dos la define la cobertura de servicios e

infraestructura y, la tercera unidad define un perímetro de crecimiento o expansión territorial en función de sus habitantes.

Para el caso de Mexicali (ver Figura 17) la primera unidad (U1) incluye prácticamente los tres principales corredores urbanos, en los cuales se ubican las zonas de comercio y servicios y los parques industriales; la segunda unidad (U2) comprende el resto del área urbana actual con un predominio del uso habitacional; por último la unidad tres (U3) considera una zona perimetral de amortiguamiento o *buffer* para crecimiento urbano futuro.

Cabe destacar que la estrategia de contención se orienta básicamente a los subsidios en los créditos de vivienda, más que a una estrategia real para evitar en lo posible la expansión de las ciudades. Resulta ser un paliativo –un hasta aquí– al desorden creado por los desarrolladores de vivienda en los últimos años.

Figura 17.- Perímetros de contención urbana.

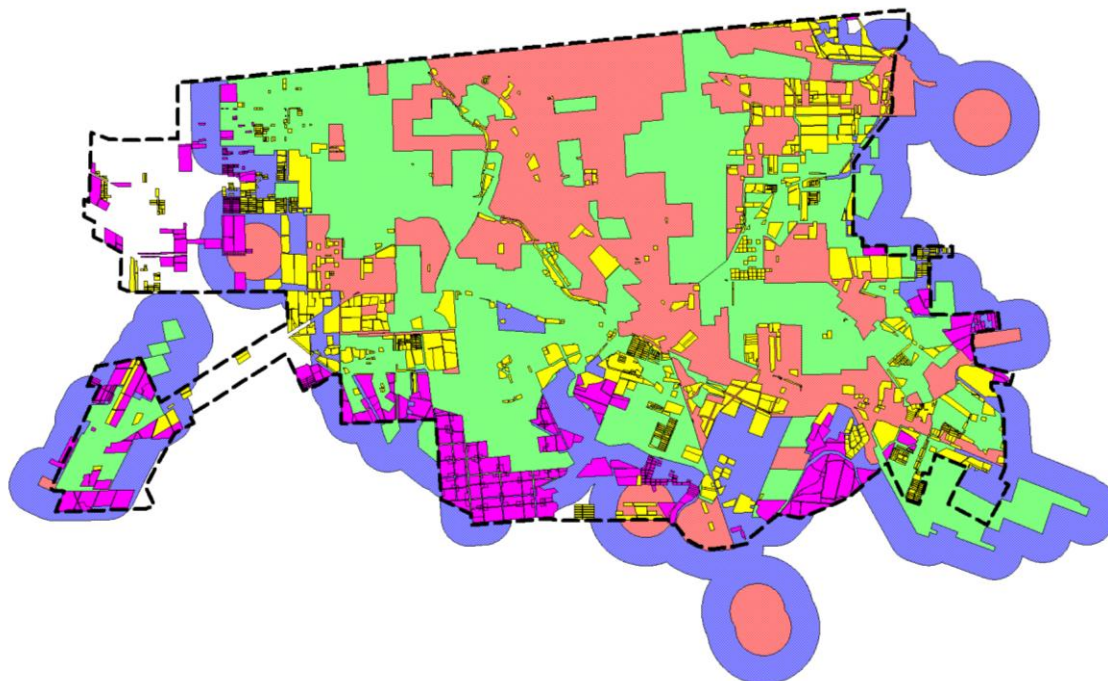


Fuente: CONAVI (2014).

La siguiente imagen (Figura 18) muestra una superposición de los perímetros de consolidación urbana y los baldíos interurbanos (de color amarillo los baldíos urbanizados, y de color magenta, los baldíos no urbanizados), en ella se puede observar que para el caso de Mexicali la consolidación urbana a través de suelo baldío al interior de la ciudad se puede dar hacia el exterior de la segunda unidad (U2) y en la tercera unidad (U3), esto es prácticamente sobre la zona de amortiguamiento para crecimiento futuro.

Así una visión del futuro como resultado de la aplicación de la estrategia de perímetros de consolidación urbana, lleva al mismo resultado del modelo actual de ciudad sustentado en la expansión territorial, el cual, como se mostró en el capítulo anterior, sólo genera un área urbana más caliente que sus alrededores no urbanizados.

Figura 18.- Perímetro de consolidación urbana y baldíos interurbanos.



Fuente: Elaboración propia con datos del PDUCP (POE, 2007) y CONAVI (2014).

Por su parte, la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENEC, 2013) establece como pilares de política y líneas de acción lo siguiente: garantizar la inclusión de criterios de adaptación y mitigación al cambio climático en los instrumentos de política como la evaluación de impacto ambiental y los ordenamientos generales, estatales y municipales del territorio; ordenamientos ecológico-marinos; ordenamientos turísticos del territorio y en programas de desarrollo urbano, así como transitar a modelos de ciudades sustentables con sistemas de movilidad, gestión integral de residuos y edificaciones de baja huella de carbono.

Para ello, agrega que se debe aumentar el uso controlado y eficiente del territorio al disminuir la expansión urbana y garantizar el acceso a suelo intraurbano, promover edificios de usos mixtos y verticales, privilegiar la densificación antes que la apertura de nuevas reservas en la periferia e incluir la integración de bosques urbanos y definir los límites de crecimiento de las ciudades. Pero también, promover el fortalecimiento, adopción y aplicación de reglamentos, estándares y

leyes para impulsar tecnologías de ahorro y aprovechamiento de agua, energía, gas, aislamiento térmico, utilización de energía renovable y prácticas de captura de carbono (por ejemplo: azoteas verdes, jardines verticales y huertos urbanos) en edificaciones nuevas y existentes.

Una vez expuesto lo anterior queda de manifiesto que, por lo menos en el caso de Mexicali, los ajustes al modelo de desarrollo urbano propuestos en esta política no surtirán los efectos esperados en el tema de mitigación y adaptación al cambio climático; en este sentido continúan vigentes las preguntas planteadas al inicio de esta investigación orientadas a conocer la factibilidad del modelo actual de desarrollo urbano para incluir estrategias de mitigación y adaptación ante la ICU y con base en esa factibilidad conocer las posibilidades de mitigación y adaptación futura en Mexicali.

Para ello, a continuación se aborda la construcción de escenarios de mitigación-adaptación a través de los cuales se evalúa la factibilidad antes mencionada.

5.2 Construcción de escenarios de mitigación-adaptación

Para la construcción de escenarios se siguieron dos pautas: la primera orientada al uso del suelo en la cual se establece la aplicación de las estrategias de mitigación (descritas en el primer capítulo) gradualmente hasta lograr el 100% de aplicación en 2030; lo anterior en términos de desarrollo urbano y edificación implica que se deben incluir sistemáticamente las cinco estrategias de mitigación en las obras de urbanización y edificación actuales y futuras (Tabla 12). Esta forma de construcción de escenarios permite evaluar la eficacia de aplicar las estrategias por cada uno de los uso del suelo y con ello un esbozo de lo que pudiera ser una serie de políticas públicas urbanas.

Tabla 12. Escenario de mitigación-adaptación con base en usos del suelo.

Uso del suelo	Escenarios				
	2010	2015	2020	2025	2030
Habitacional	0%	25%	50%	75%	100%
Industrial	0%	25%	50%	75%	100%
Equipamiento	0%	25%	50%	75%	100%
Comercio	0%	25%	50%	75%	100%
Mixto	0%	25%	50%	75%	100%

Fuente: Elaboración propia.

La segunda perspectiva en la construcción de escenarios se orienta a conocer la eficacia por estrategia, esto es, evaluar los resultados al aplicar las cinco estrategias distribuidas al interior del espacio urbano actual y futuro (Tabla 13), lo anterior, a diferencia de los primeros escenarios, permite evaluar la conveniencia por estrategia y con ello conocer la que de mejores resultados en lo individual o bien posibles combinaciones.

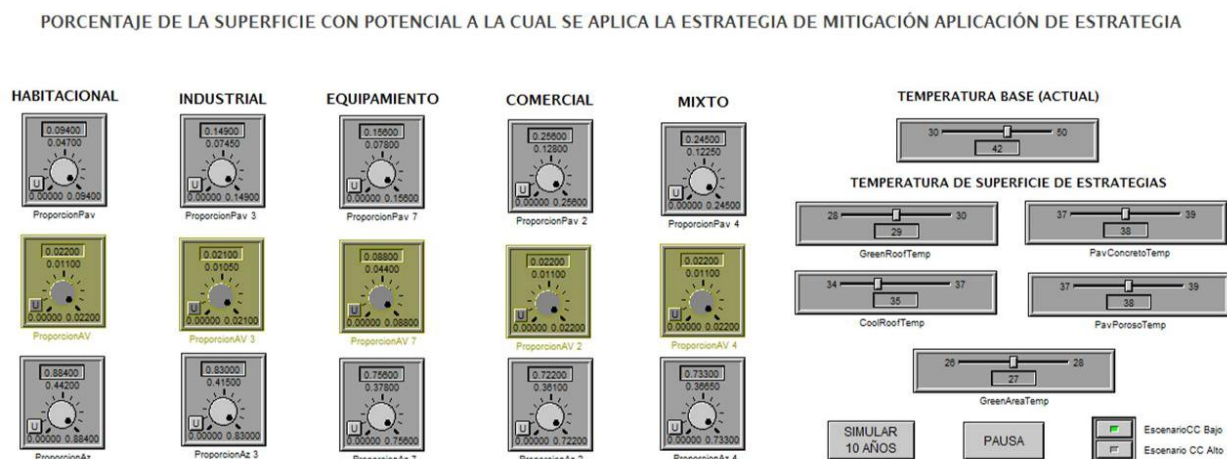
Tabla 13. Escenario de mitigación-adaptación con base en estrategias.

Estrategia	Escenarios				
	2010	2015	2020	2025	2030
Azoteas verdes	0%	25%	50%	75%	100%
Azoteas frescas	0%	25%	50%	75%	100%
Pavimentos porosos	0%	25%	50%	75%	100%
Pavimentos frescos	0%	25%	50%	75%	100%
Reforestación	0%	25%	50%	75%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Para modelar y simular cada uno de los escenarios, se utilizó la interface de simulación (Figura 19) y a través de ella se asignaron los valores de las tablas anteriores. Ésta se compone de los siguientes elementos: cinco columnas que representan cada uso del suelo utilizado en el modelo; seis barras de temperatura ajustables, en la primera de ellas se establece la temperatura base del modelo (para el caso de esta investigación se asigna en 42 °C), el resto de las barras representa la temperatura de superficie de cada una de las estrategias; incluye también dos botones de control de simulación (simulación y pausa), así como un control a través del cual se asigna el escenario de cambio climático a utilizar.

Figura 19. Interface de simulación en *STELLA*®.



Fuente: Elaboración propia.

De manera general la configuración de cada escenario se realiza de la siguiente manera, cada columna tiene tres controladores tipo perilla (pavimentos, reforestación y azoteas) a través de estos se asignan los valores de cada escenario; para controlar el tiempo de los escenarios se utilizan los botones de control de simulación (simulación y pausa) lo cual permite aumentar o disminuir el valor de cada escenario en un periodo de tiempo específico.

5.3 Comportamiento del modelo

En el capítulo tres se presentó la descripción general del modelo utilizado en esta investigación; a continuación, se describe el comportamiento de los tres subsistemas principales del modelo (población, área verde y uso del suelo) utilizando los datos de los escenarios descritos con anterioridad. El comportamiento mostrado en las siguientes gráficas es resultado de cada subsistema; sin embargo, es importante señalar la conveniencia de la modelación dinámica en esta investigación, que radica en la posibilidad de relacionar cada subsistema del modelo y los resultados de la simulación de escenarios producto de ello.

Subsistema de la población

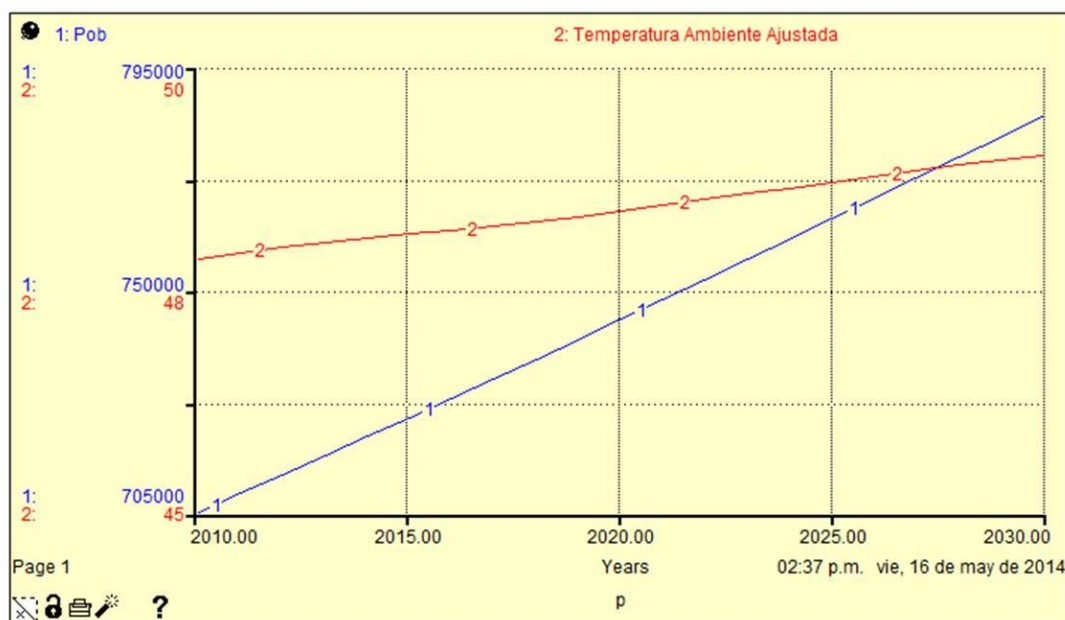
Es la población el principal agente de transformación del espacio urbano, su comportamiento en el modelo se basa en las proyecciones de población de INEGI-CONAPO, este subsistema tiene relación directa con los subsistemas de área verde y con el de temperatura ambiente general. Su relación con el primero se establece por la necesidad de conocer los requerimientos de área verde a futuro, conforme a la norma nacional de cuatro metros cuadrados por habitante. En el segundo caso, su relación es para establecer la correspondencia entre incremento de la población y aumento de la ICU según la ecuación utilizada por Torok, *et al.*, (2001) mencionado en el tercer capítulo (Figura 20).

Subsistema de área verde

La relevancia del subsistema área verde en el modelo se debe a que la reforestación es considerada una de las estrategias principales de mitigación y adaptación ante la ICU y en general, ante el cambio climático global. Su comportamiento en el modelo se relaciona como ya se mencionó con los requerimientos de área verde por habitante, también con la reserva establecida en el PDUCP (como uso del suelo destinado al área verde), así como con el incremento establecido por norma de donación de suelo del tres por ciento para el caso de nuevos

fraccionamientos habitacionales, esto es, los futuros parques de barrio que deberán ser incluidos en las nuevas áreas habitacionales y que son responsabilidad del desarrollador.

Figura 20. Relación población-temperatura ambiente.



Fuente: Elaboración propia con base en proyecciones de población INEGI-CONAPO y la ecuación utilizada por Torok, *et al.*, (2001), donde la línea (1) representa el incremento poblacional y la línea (2) la intensificación de la ICU.

Conforme a lo anterior, la figura 21 muestra el comportamiento de las tres relaciones; la primera de ellas los requerimientos futuros de área verde por habitantes ($4 \text{ m}^2/\text{hab.}$) se muestran con la línea uno de color azul y un resultado de 314 hectáreas al 2030; la segunda relación, la reserva establecida en el PDUCP con línea tres de color magenta y un resultado de 410 hectáreas al 2030; por último, los requerimientos normativos de donación para área verde del 3% en nuevos fraccionamientos con línea dos de color rojo y un resultado de 980 hectáreas al mismo año. Lo anterior indica por una parte que la reserva establecida en el PDUCP es “suficiente” si se considera la normatividad oficial —la cual, cabe señalar, es menos de la mitad de lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud—, y por otra, que la donación del 3% para área verde en nuevos fraccionamientos no siempre se da en las mejores condiciones para la sobrevivencia de las especies; por ello, en la mayoría de los casos, los parques de barrio se caracterizan por la escasa vegetación.

Figura 21. Comportamiento área verde.



Fuente: Elaboración propia con datos del PDUCP (POE, 2007), donde la línea (1) representa los requerimientos futuros de área verde por habitante ($4 \text{ m}^2/\text{hab.}$), la línea (2) los requerimientos normativos de donación del 3% en el caso de nuevos fraccionamientos, y la línea (3) la reserva de área verde establecida en el PDUCP.

Subsistema uso del suelo

Son cinco los subsistemas que conforman el uso del suelo (habitacional, comercio y servicios, industrial, equipamiento y mixto). Su comportamiento describe de manera general el potencial de mitigación-adaptación que tiene cada uso del suelo en la ciudad, lo cual está directamente relacionado con la capacidad de cada uso para albergar cada una de las estrategias de mitigación-adaptación.

La siguiente gráfica se compone por los cinco usos del suelo representados de la siguiente manera: con línea de color azul y número uno el uso habitacional; de color rojo y número dos el de comercio y servicios; la línea tres de color magenta el uso industrial; con el número cuatro y de color verde el uso mixto y por último; la línea número cinco y color naranja el equipamiento.

En cuanto al comportamiento de cada subsistema expresado en la Figura 22 se puede interpretar lo siguiente: es el uso del suelo dedicado al equipamiento el que mayor potencial de aplicación de estrategias ofrece, por ello resulta ser el de mayor eficiencia en reducir la temperatura; por el contrario el uso mixto es el menos eficaz, lo cual hace referencia a su baja capacidad para albergar estrategias de mitigación-adaptación.

Figura 22. Comportamiento de la temperatura de mitigación-adaptación por uso del suelo.



Fuente: Elaboración propia con base en los escenarios de mitigación-adaptación por uso del suelo, donde las líneas del 1 al 5 representan la temperatura de mitigación-adaptación de la siguiente manera: (1) habitacional; (2) comercio y servicios; (3) industrial; (4) mixto y (5) equipamiento.

Lo anterior tiene varias connotaciones, por ello no es tan simple como pensar que a través de la aplicación de estrategias de mitigación-adaptación en el uso del suelo destinado al equipamiento se puede reducir la ICU en Mexicali debido a que este uso en la ciudad, sólo representa el 6.4% del área urbana; por su parte el uso mixto representa el 9.2%.

En el caso del uso habitacional que en la gráfica anterior es el segundo en eficacia en reducir la temperatura de la ciudad, representa más de la mitad del área urbana y prácticamente se encuentra distribuido en toda la ciudad. Por su parte, el uso destinado al comercio y los servicios, representa el 8.4% del área urbana y en términos de eficacia para reducir la temperatura se encuentra un nivel por debajo del uso habitacional.

Esta primera aproximación a los resultados del modelo permite observar la complejidad de una propuesta de mitigación-adaptación de la ICU para la ciudad de Mexicali; también de cierta manera deja validar los escenarios construidos, dado que la eficacia en la mitigación-adaptación está sujeta tanto por el potencial de aplicación de la estrategia por uso del suelo como por su distribución en la ciudad.

Capítulo 6. Resultados y Conclusiones

El estudio de los fenómenos urbanos se ha transformado en las últimas décadas. Este cambio no es fortuito se acompaña de los avances en las tecnologías de la información. Lo anterior, aunado a las transformaciones sociales, han hecho que las ideas, conceptos y teorías sobre la ciudad se vuelvan obsoletas y se dé paso a nuevas formas de abordar lo urbano. En este escenario no sólo el concepto de ciudad ha cambiado, también el quehacer de los urbanistas y planeadores urbanos: la ciudad ha pasado de ser un lugar organizado y regulado para las actividades humanas, para convertirse en un sistema espacial complejo.

En este sentido, Gilman, *et al.*, (2007) también aborda el tema del cambio climático desde la perspectiva de un sistema complejo y no lineal que genera inestabilidad dinámica en sistemas humanos y naturales. Agrega que para responder a esta inestabilidad se requiere de la toma de decisiones, la disponibilidad de recursos y la capacidad de adaptación y flexibilidad instalada en el sistema. La importancia de este enfoque, comenta Barton (2009), es que supera los propios enfoques del urbanismo clásico (diseño, zonificación y construcción), los cuales pocas veces se construyen sobre un pensamiento complejo e integrador del sistema y de los flujos que lo dinamizan.

Con base en lo anterior, para el desarrollo de esta investigación fue necesario utilizar distintas herramientas de análisis, éstas van desde la utilización de teledetección para conocer la situación térmica de superficie de la ciudad e identificar el patrón de comportamiento de la ICU y clasificar la cobertura del suelo urbano; por otra parte, la conformación de un sistema de información geográfica como herramienta de integración de la información anterior, así como la construcción de escenarios de mitigación-adaptación a través de modelación dinámica. La utilización del uso del suelo como variable común en los distintos análisis, convierte a los diferentes métodos utilizados en complementarios debido a que fueron utilizados para abordar una problemática de manera integral lo que sucede al aplicar distintas estrategias de mitigación en un marco de adaptación ante cambio climático.

El trabajo resultó coherente al integrar el análisis de los resultados obtenidos del modelo para cumplir el objetivo general que es establecer la relación que existe entre los usos y cobertura del suelo y las posibilidades de mitigación y/o adaptación de la ICU en la ciudad a través de un esquema de planeación, utilizando herramientas como los SIG y la modelación dinámica.

Como se ha expuesto hasta el momento, lograr una adaptación del tejido urbano es un proceso complejo debido a la gran interacción de variables; es por esta razón que un enfoque sectorial dirigido a soluciones parciales no es suficiente. En contraste, un enfoque que integre y coordine las respuestas de los distintos sectores en el corto (mitigación), mediano y largo plazo (adaptación) influirá en la reducción del riesgo y la vulnerabilidad de la población.

En el capítulo anterior se estableció la construcción de escenarios de mitigación-adaptación bajo dos visiones, la primera de ellas a conocer las posibilidades por uso del suelo, la segunda por su parte a conocer las posibilidades que ofrece cada estrategia; para ambos casos, los escenarios planteados son en periodos de cinco años hasta el año 2030 con la finalidad de hacerlos coincidir con la vigencia del PDUCP.

De manera global y con base en la estructura urbana propuesta en el PDUCP y los cinco usos del suelo utilizados en la investigación, se puede decir que a un escenario al año 2030, sólo al 39.5% del área urbana tendrá potencial para aplicarle alguna de las estrategias. Para un mayor detalle de los resultados obtenidos a continuación, se puntualiza en cada una de las dos visiones.

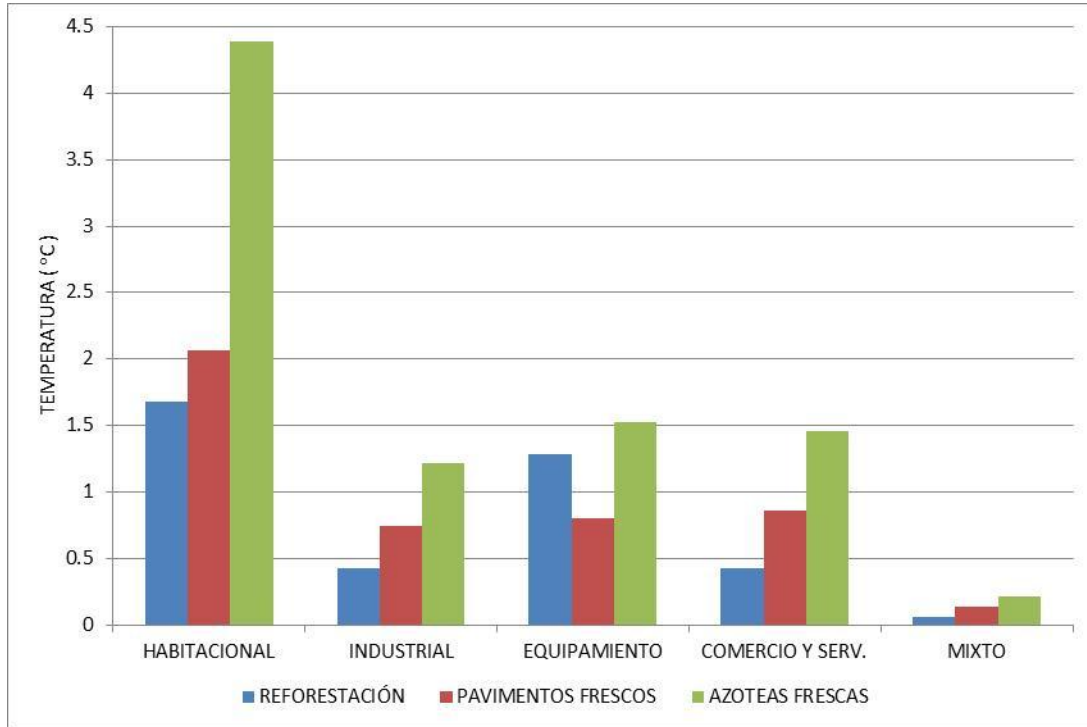
6.1 Resultados

Para dar inicio a la presentación de resultados cabe recordar el objetivo general de la investigación, Este fue dirigido a establecer la relación que existe entre los usos, la cobertura del suelo y las posibilidades de mitigación-adaptación de la ICU en Mexicali; para tal fin, en las siguientes gráficas se muestran los resultados de la simulación bajo las dos visiones descritas anteriormente en términos de dicha relación.

Las primeras gráficas presentan el potencial de mitigación-adaptación por uso del suelo, esto es, a cada uso del suelo se le integra su potencial particular de cada estrategia (Figuras 23 y 24). Esta visión permite, por una parte, observar el potencial de mitigación por uso, pero también el comportamiento de cada estrategia en cada uno de los uso del suelo. Después, la Figura 25 ofrece un escenario de la relación entre expansión urbana y superficie potencial para la aplicación de estrategias de mitigación-adaptación; por su parte la Figura 26 expresa la relación temporal de la aplicación de estrategias y por último de este bloque, la Figura 27 muestra la relación entre la expansión urbana y temperatura de mitigación-adaptación.

Un segundo bloque de gráficas (Figuras 28, 29, 30, 31 y 32) muestran los resultados de mitigación-adaptación por cada estrategia en relación a cada uso del suelo.

Figura 23. Potencial de mitigación-adaptación por uso del suelo.



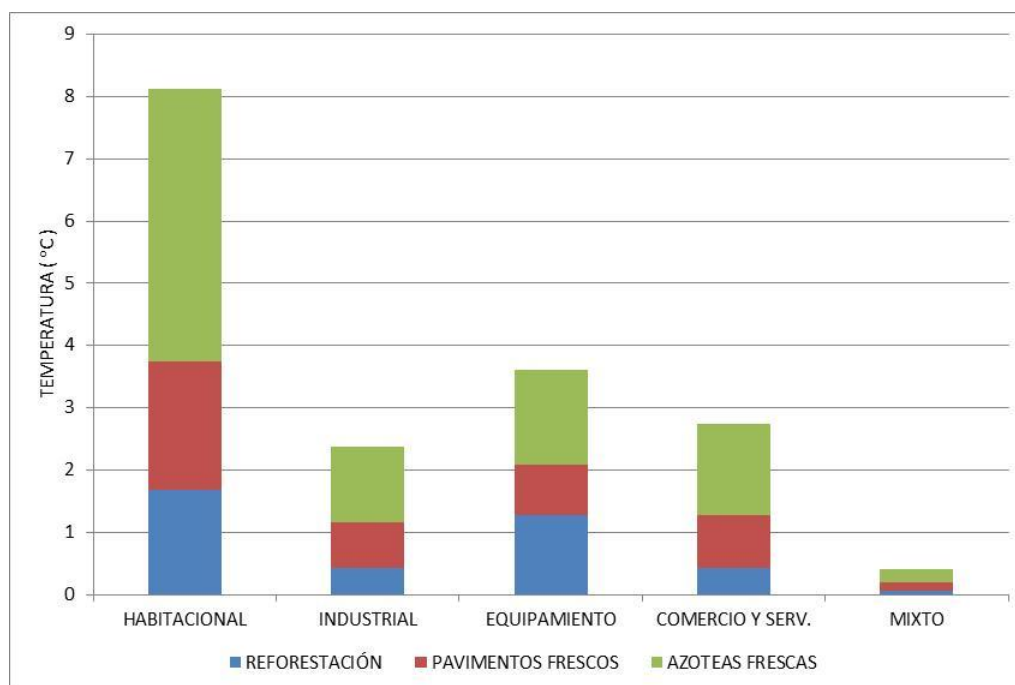
Fuente: Elaboración propia producto de la simulación.

La gráfica anterior revela la diferencia del potencial de mitigación-adaptación que ofrecen los cinco usos del suelo; son las estrategias orientadas a las azoteas las que en general ofrecen mayor potencial de mitigación, le siguen los pavimentos y por último, la reforestación. Una segunda lectura es en términos de la superficie potencial para albergar cada una de las estrategias de mitigación que tiene cada uso del suelo. De esta segunda lectura, se puede inferir que la superficie de azoteas de uso habitacional es mucho mayor que las de uso mixto, mientras que la superficie de azoteas de uso comercial y de servicios y las de edificaciones destinadas al equipamiento son muy similares; esto es: a mayor superficie potencial mayor mitigación-adaptación.

También con relación a los cinco usos del suelo, pero de manera agrupada, la siguiente gráfica muestra el potencial total de mitigación, esto es, la suma de cada una de las estrategias por cada uso. En ella se puede apreciar que prácticamente el uso habitacional ofrece más del doble de posibilidades que el resto de los usos, por el contrario las posibilidades que ofrece el uso mixto

son despreciables; el segundo en importancia es el uso destinado al equipamiento, después el de comercio y servicios y luego el industrial.

Figura 24. Potencial agrupado de mitigación-adaptación por uso del suelo.

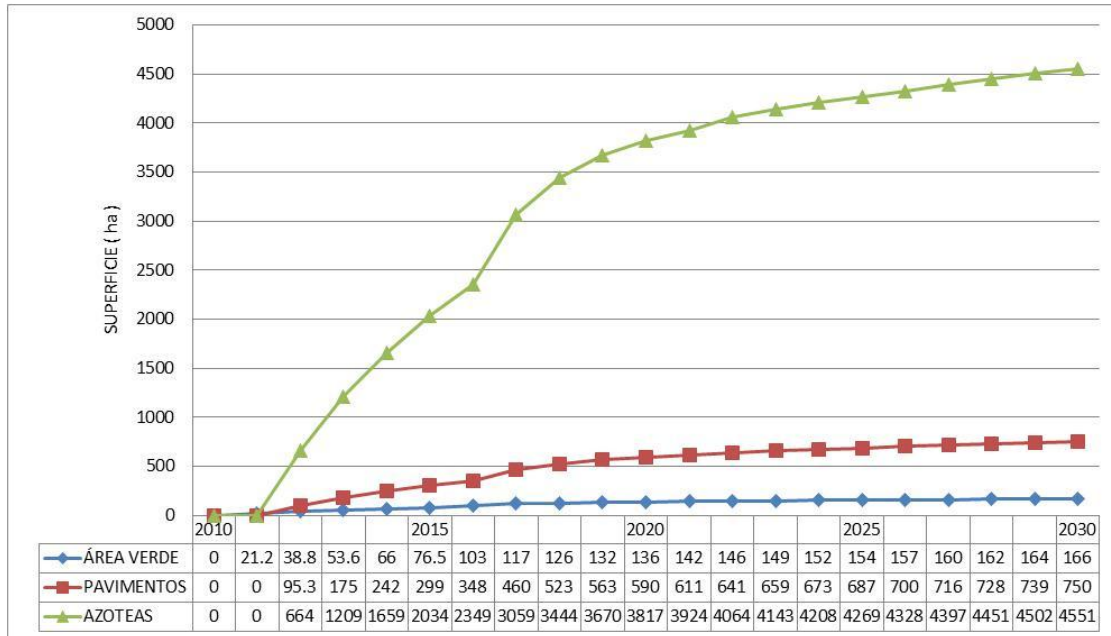


Fuente: Elaboración propia producto de la simulación.

Hasta aquí se han mostrado a un escenario al 2030 las posibilidades totales que ofrece la estructura urbana actual y futura de la ciudad representada por los cinco principales usos del suelo, esto es, utilizar al 100% la superficie potencial y aplicarle la estrategia de mitigación-adaptación que corresponda según lo establecido en los escenarios construidos en el capítulo pasado. Lo anterior considera que la estructura espacial de cada uso del suelo seguirá el mismo patrón actual (esto es mismo COS, CUS, densidades, etc.).

En cuanto a la superficie potencial, la siguiente gráfica muestra su relación con la expansión de la ciudad, utilizando el escenario de mitigación-adaptación con base en los usos del suelo (Tabla 12) las tendencias indican que la superficie de azoteas es el componente más importante con 4,551 hectáreas, después las superficies pavimentadas y por último la superficie a reforestar (áreas verdes). En porcentaje, su representación es de la siguiente manera: la superficie de azoteas domina el escenario con un 83.2%, con un 13.7% le siguen las superficies pavimentadas, por último la superficie con posibilidades de reforestación o áreas verdes con un 3%.

Figura 25. Relación expansión urbana con superficie potencial.

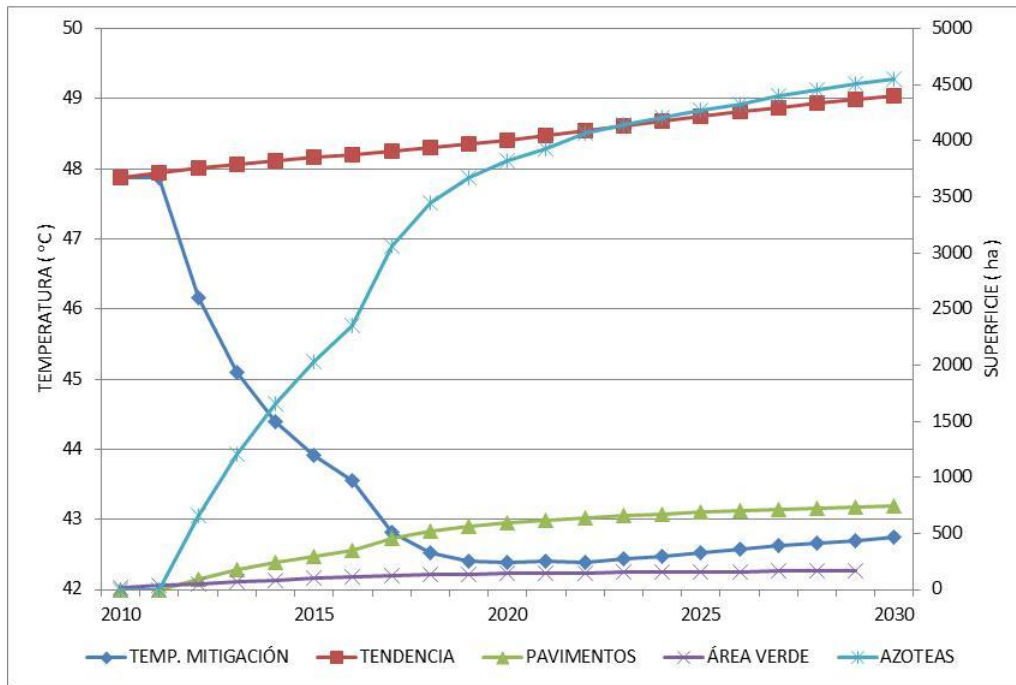


Fuente: Elaboración propia producto de la simulación.

En las primeras dos gráficas del capítulo se mostró el potencial de mitigación por uso del suelo. A continuación se hace referencia a la relación temporal entre la aplicación de las estrategias de mitigación-adaptación y la temperatura resultante; para ello la siguiente gráfica la conforman por una parte los valores de temperatura tendencial y la de mitigación-adaptación, y por otra, los valores de aplicación en superficie de las estrategias (Figura 26).

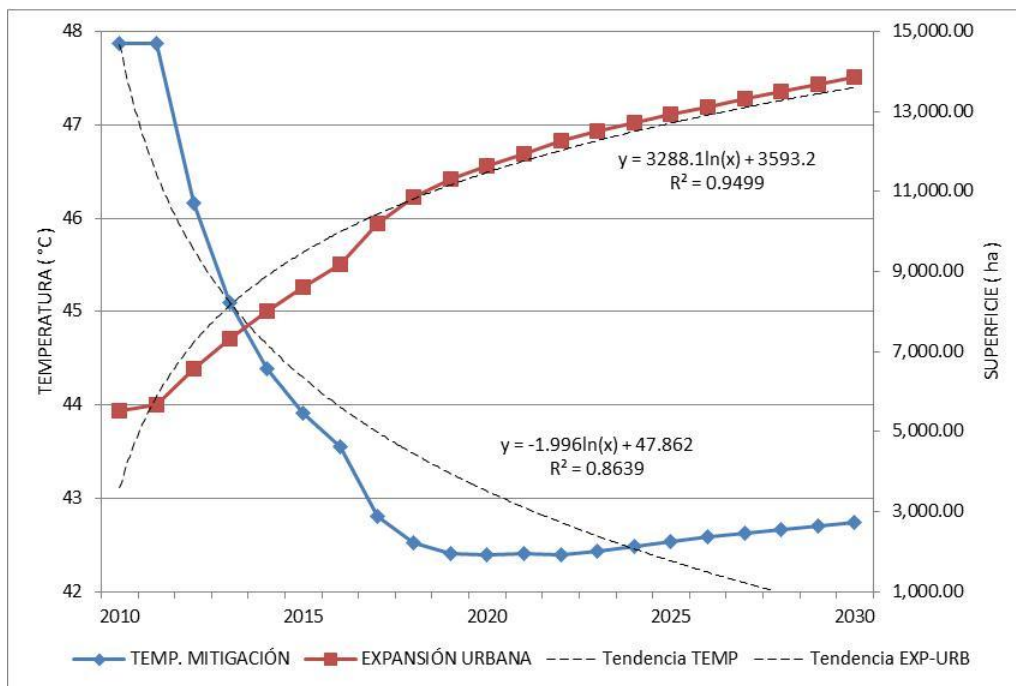
El primer punto a observar es la diferencia de temperatura entre la tendencia y la de mitigación-adaptación la cual es mayor a seis grados; más aún, el efecto importante que se obtiene desde el inicio y hasta 2019, después la temperatura se estabiliza hasta 2023 cuando presenta una ligera tendencia a elevarse; lo anterior tiene cierta coincidencia con la curva de azoteas y pavimentos las cuales también presentan un periodo de estabilidad, esto como resultado de la simulación de los escenarios construidos. Cabe señalar que es a partir de 2020 cuando se aplica el 50% del potencial de estrategias, por lo tanto, el comportamiento de la curva refleja que es en la primera mitad de la aplicación de estrategias cuando se tiene la mayor eficacia.

Figura 26. Relación temporal de aplicación de estrategias.



Fuente: Elaboración propia producto de la simulación.

Figura 27. Relación expansión urbana y temperatura de mitigación-adaptación.

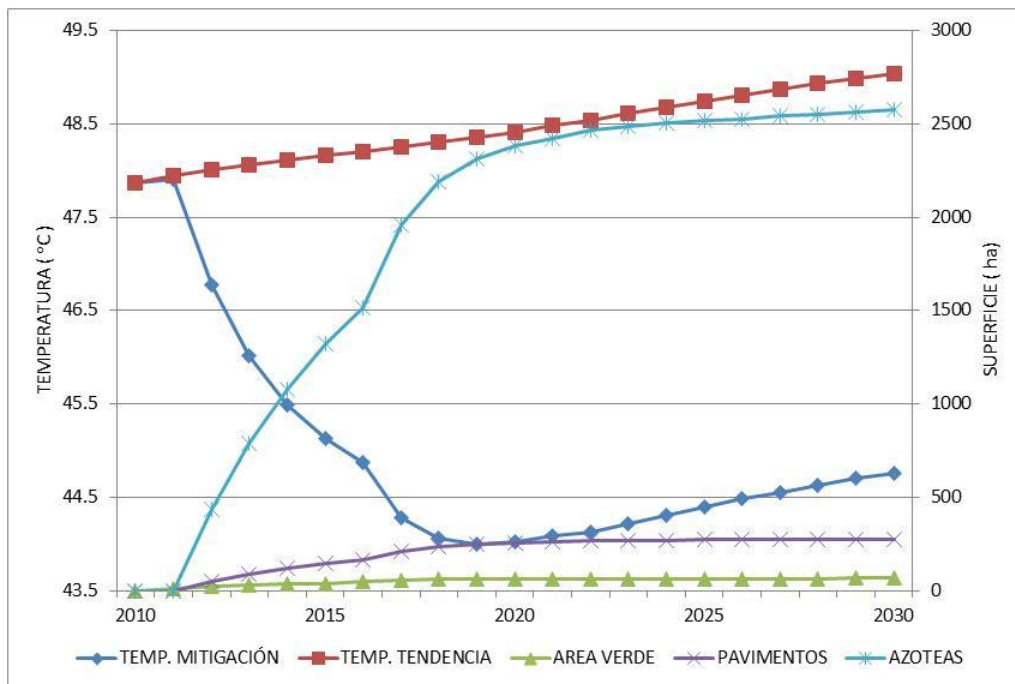


Fuente: Elaboración propia producto de la simulación.

Por su parte la gráfica anterior (Figura 27), advierte la relación directa entre expansión urbana (superficie que incluye tanto la superficie potencial para aplicación de estrategias como la no potencial) y la temperatura de mitigación; por lo tanto, se puede considerar que aún con la tendencia de expansión de la ciudad, se puede lograr disminuir la temperatura intraurbana.

Con el fin de mostrar mayor detalle de los resultados, a continuación se presentan una serie de gráficas que muestran cómo cada uso del suelo puede contribuir en la mitigación-adaptación de la ICU en la ciudad. Los datos que conforman estas gráficas son de dos tipos: por una parte la tendencia de incremento y de mitigación de la temperatura y por otra, la superficie utilizada por cada estrategia. De manera general los resultados advierten un comportamiento diferente en cada uso del suelo. En este sentido, cabe destacar el diferencial de mitigación de cada caso: el uso habitacional con 4.8° C., el industrial 1.2° C., el de equipamiento 1.5° C., comercio y servicios 1.4° C., por último, el uso mixto solo 0.2° C.

Figura 28. Mitigación-adaptación a través del uso del suelo habitacional.

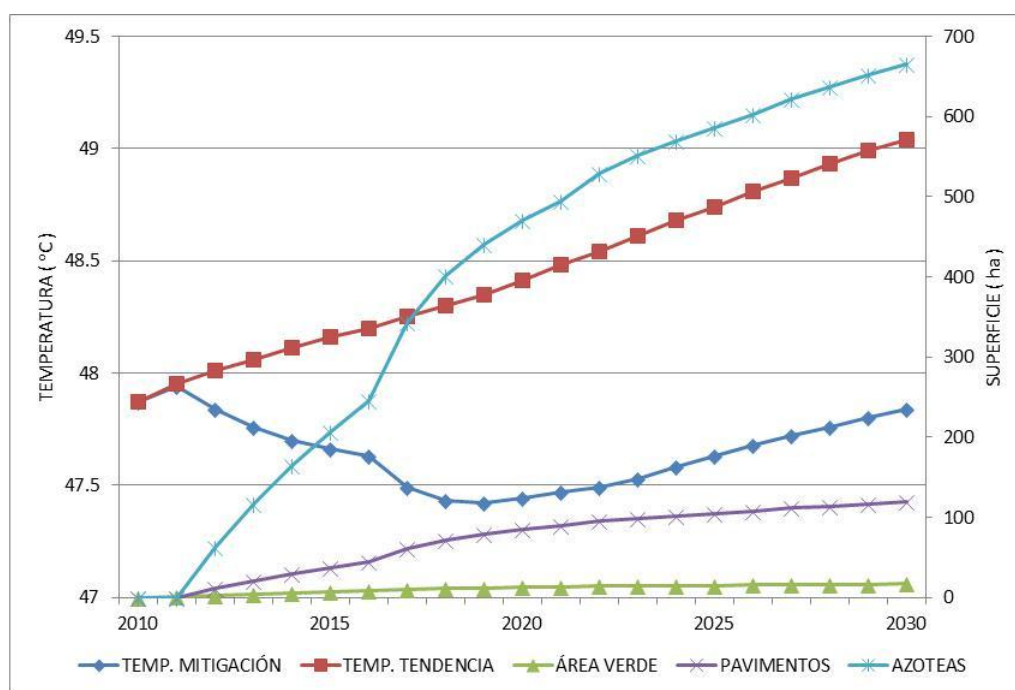


Fuente: Elaboración propia producto de la simulación.

Resulta lógico pensar que la razón de estos resultados se debe a la organización de los usos del suelo de la ciudad, lo cual en parte es correcto ya que, por ejemplo, el uso del suelo habitacional representa el 66% de la ciudad y el uso mixto el 9.2%. Sin embargo, el uso industrial representa

el 9.4% muy similar al uso mixto, pero en términos de mitigación ofrece mayor posibilidad. Lo anterior deja ver que la relación expansión urbana-mitigación no es lineal o dicho de otra manera, no es directamente proporcional a la superficie potencial ya que también entra en juego la estrategia a utilizar.

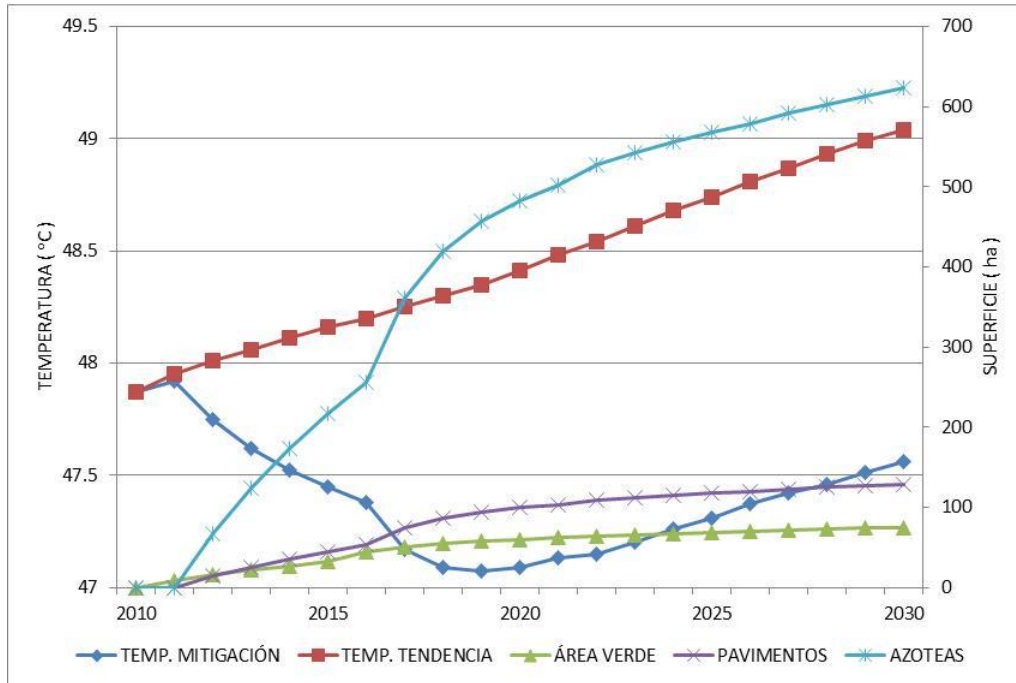
Figura 29. Mitigación-adaptación a través del uso del suelo industrial.



Fuente: Elaboración propia producto de la simulación.

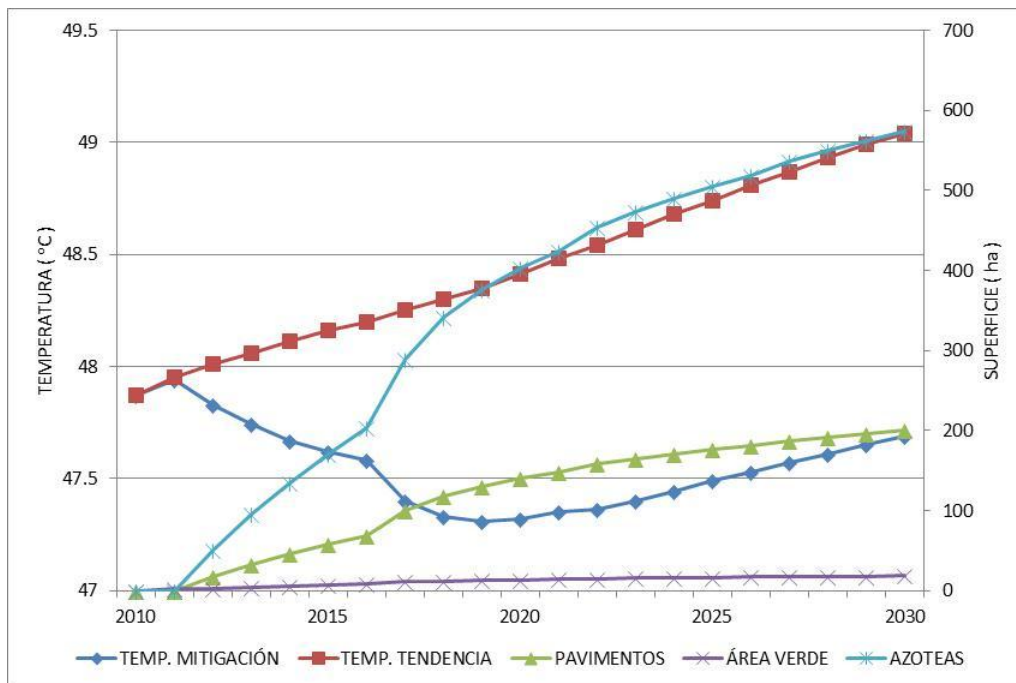
Continuando con el uso industrial, del 9.4% que representa del total de la ciudad, sólo el 41.5% tiene potencial para aplicarle alguna estrategia de la siguiente manera: 83% en azoteas, 14.9% a superficies pavimentadas y sólo el 2.9% a reforestación y áreas verdes. Por su parte, el uso destinado al equipamiento representa el 6.4% de la ciudad, sólo el 52.7% tiene potencial para aplicarle alguna estrategia y es de la siguiente manera: 75.6% en azoteas, 15.6% en superficie pavimentadas y el 8.8% restante a áreas verdes (Figura 30). En cuanto al uso destinado al comercio y los servicios el cual representa el 8.4% de la ciudad, sólo el 42.9% presenta un potencial para la aplicación de estrategias de la siguiente manera: 72.2% en azoteas, 25.6% en superficies pavimentadas y 2.2% a la reforestación. Por último el uso mixto que representa el 9.2% del área urbana, de la cual sólo el 10.1% tiene potencial de aplicación de estrategias de la siguiente manera: 73.3% en azoteas, 24.5% en superficies pavimentadas y 2.2% a la reforestación.

Figura 30. Mitigación-adaptación a través del uso del suelo equipamiento.



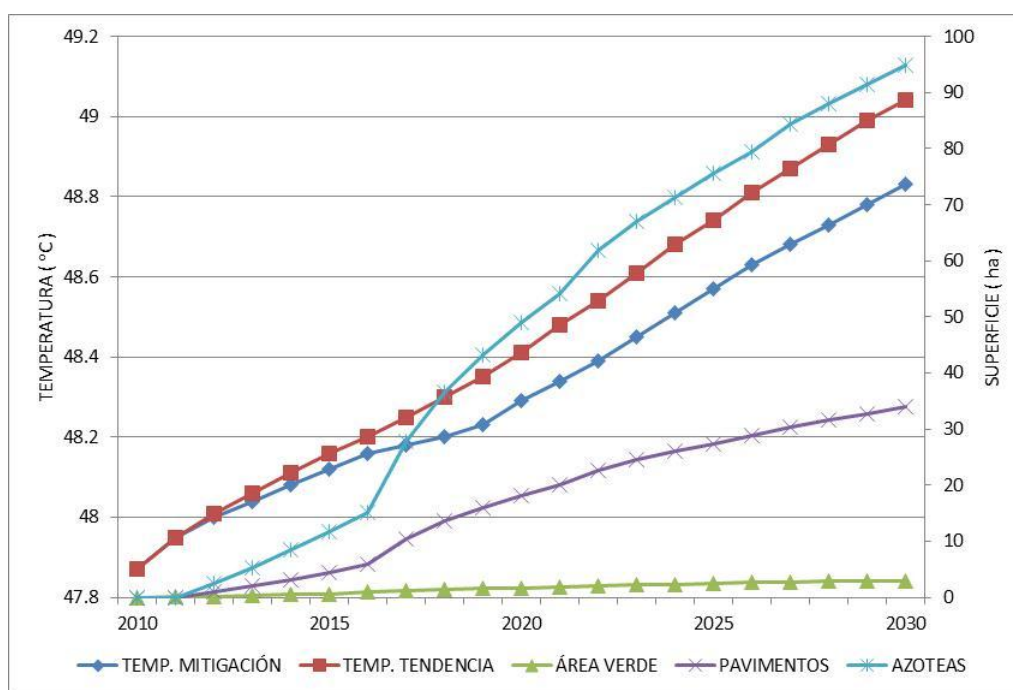
Fuente: Elaboración propia producto de la simulación.

Figura 31. Mitigación-adaptación a través del uso del suelo comercio y servicios.



Fuente: Elaboración propia producto de la simulación.

Figura 32. Mitigación-adaptación a través del uso del suelo mixto.



Fuente: Elaboración propia producto de la simulación.

6.2 Planeación urbana, mitigación y adaptación ante la ICU

Asociar la mitigación y adaptación de la ICU como parte del proceso de planeación urbana es un desafío actual establecido en diferentes publicaciones de organismos nacionales e internacionales, los cuales advierten que el tema se debe incluir como aspecto central y no como un tema adicional. Para ello se debe considerar por una parte la importancia de la mitigación en la situación actual y por otra, cómo las acciones de mitigación se pueden transformar en estrategias de adaptación futuras para ser incorporadas en los instrumentos que regulan el desarrollo urbano; lo anterior acorde a la escala de aplicación y a los diagnósticos que resulten en el establecimiento de acciones, su corresponsabilidad y priorización.

El tema de mitigación-adaptación de la ICU es un resultado articulado con los instrumentos normativos del desarrollo urbano, permitiendo incorporar el tema en la agenda urbana y a sus instrumentos asociados que, para el caso de Mexicali, van desde el PDUCP, los programas parciales, así como los reglamentos de fraccionamientos y el de edificaciones; también señala la necesidad de pensar en forma integrada, asociando aspectos físicos del medio ambiente con el desarrollo social y económico de la ciudad, sobre todo en términos de vulnerabilidad y

resiliencia al clima. En este sentido, mitigar y adaptar el espacio urbano ante la ICU y del cambio climático en general es fundamental en términos del desarrollo sustentable; por consiguiente, las acciones derivadas serán en el mediano y largo plazo debido a su complejidad.

Las tres principales estrategias de mitigación de la ICU, azoteas frescas, pavimentos frescos, áreas verdes y reforestación, están muy lejos de ser un estándar en las prácticas de construcción y urbanización de la ciudad. Por ejemplo, las azoteas frescas (haciendo referencia a las reflexivas ya que no existe ninguna azotea verde en Mexicali) se identifican en construcciones industriales o bodegas de reciente construcción que utilizan sistemas constructivos de láminas de acero en azoteas; por su parte, los pavimentos frescos (fuera de algunas secciones de vialidad nuevas de concreto) son prácticamente inexistentes, siendo el asfalto el material que prevalece en la construcción de vialidades y estacionamientos; en cuanto a las áreas verde, es claro que cada vez es menor la superficie destinada a ellas y las existentes reciben muy poco o nulo mantenimiento.

La razón principal de que estas estrategias no se adopten es debido al desconocimiento general del problema de la ICU, pero también, al desconocimiento de las estrategias y sus beneficios directos. En este sentido Gartland (2011) menciona que es a través de la educación y el soporte profesional en los procesos de construcción y urbanización que se puede impulsar la adopción de las estrategias.

Sin embargo, para nuestro país, Fernández (2012) encuentra serias limitaciones en el tema debido a la inexistencia de suficientes cuadros de profesionales en áreas complementarias del conocimiento para abordarlos; el mismo autor también resalta la necesidad de perfiles profesionales en los temas de modelación climática para desarrollar escenarios futuros de precipitación y temperatura a nivel regional y local, con suficiente resolución espacial y confiabilidad como para ser útiles en el desarrollo de políticas y planes de adaptación y su integración a la planeación territorial y urbana, a través de la cual se elaboren los nuevos planes de desarrollo y de usos del suelo que consideren los impactos climáticos y eviten mayor vulnerabilidad de poblaciones humanas.

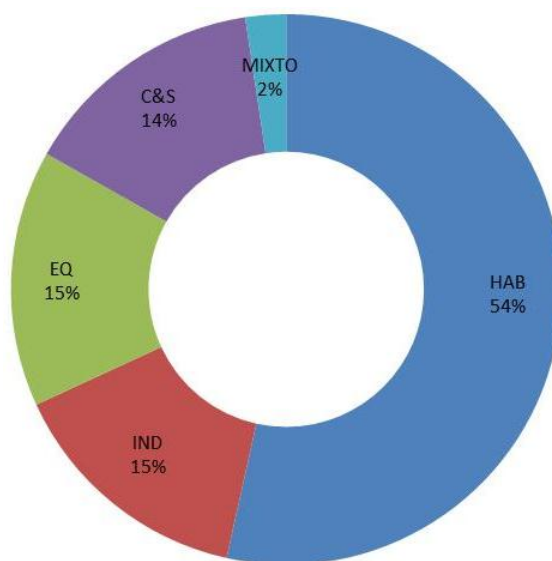
Es evidente que los procesos de cambio asociados al clima están establecidos para los próximos años. En este escenario la mitigación puede influir a corto plazo, pero es la adaptación la que contribuirá en el mediano y largo plazo en los asentamientos humanos debido a la concentración y la vulnerabilidad de sus habitantes. En este sentido, el ordenamiento del territorio y

específicamente la planeación urbana juegan un papel importante en la reducción de riesgos por ser un ámbito en el que convergen los distintos sectores que integran la ciudad, por ello su coordinación tendrá mayores desafíos al establecer y priorizar las acciones de mitigación y más aún en la definición de los alcances de la adaptación urbana futura.

6.3 Integración de los resultados al proceso de planeación

Conforme a lo anterior y a manera de ilustrar la integración de los resultados de esta investigación al proceso de planeación de la ciudad, a continuación se definen los criterios generales para incorporar el tema de la mitigación actual y adaptación futura de la ICU en el PDUCP a través de la planeación del uso del suelo.

Figura 33. Potencial de estrategia de azoteas por uso del suelo al 2030.



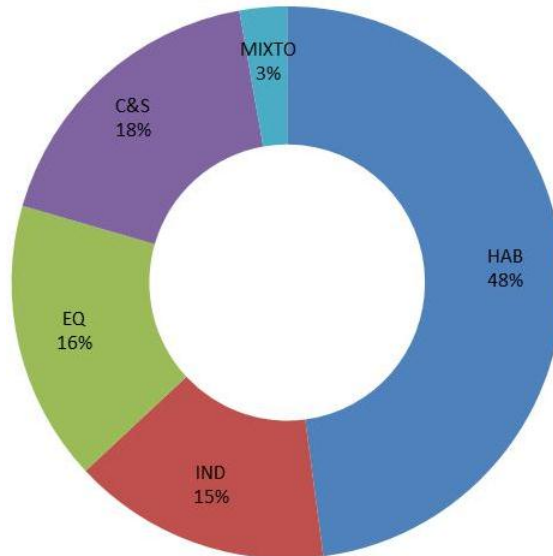
Fuente: Elaboración propia producto de la simulación.

Al considerar lo significativo que resulta la superficie de azoteas en el uso habitacional (Figura 33) es posible observar que de continuar con la misma política de vivienda horizontal y el mismo modelo de planeación de la ciudad, las azoteas de edificaciones habitacionales deberán contar con una de las dos estrategias (azoteas verdes o reflexivas). De manera similar, resultan las posibilidades que ofrecen la suma de los usos, comercio y servicios, industria y equipamiento que juntos representan el 44% del potencial de azoteas. En definitiva, cada uno de los tres ofrece características particulares de superficie, sistema constructivo, ubicación en la ciudad, etc., también cada uno, contribuye con emisiones térmicas de manera distinta. Como ya se mencionó

en capítulos anteriores, es el uso industrial el de mayor rango de temperatura de superficie por lo que también debería de ser el de mayor aportación a la solución del problema.

Del mismo modo resulta la superficie de pavimentos, es el uso habitacional el de mayor representatividad, lo cual permite proponer tanto pavimentos porosos (tráfico ligero), como pavimentos de concreto (tráfico pesado en vialidades principales). Muy similar a la estrategia anterior, la suma de los tres usos generan el mismo impacto que el uso habitacional (Figura 34). Sin embargo, en el tema de pavimentos, los tres usos presentan alta afluencia vehicular, lo cual hace considerar que fuera de algunos estacionamientos en edificios públicos en los cuales se puede utilizar pavimentos porosos, el resto se debe considerar la estrategia de pavimentos de concreto.

Figura 34. Potencial de estrategia de pavimentos por uso del suelo al 2030.

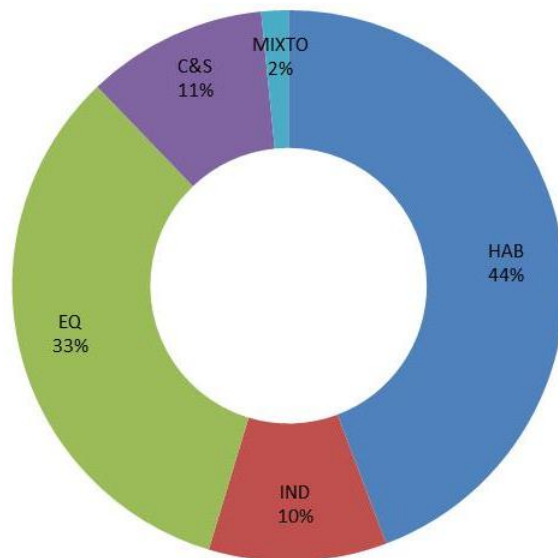


Fuente: Elaboración propia producto de la simulación.

Por su parte la estrategia de reforestación y áreas verdes ofrece posibilidades diferentes al ser dos usos los que ofrecen mayor potencial, por una parte el uso habitacional representa el 44% del potencial, por otra el uso destinado al equipamiento ofrece el 33% (Figura 35), así ambos usos representan más del 75% de las posibilidades de la estrategia. Lo anterior no subestima las posibilidades de los otros tres usos, sólo que en el tema de la reforestación y las áreas verdes la literatura indica que entre mayor sea la superficie de área verde, más eficaz resultará como estrategia de mitigación y/o adaptación. Por ello la importancia del uso habitacional y el de equipamiento, en los cuales, las posibilidades de generar áreas verdes de gran tamaño (por

ejemplo, los parques de barrio y las áreas verdes en escuelas y otros edificios públicos) contribuyen a la conformación de sumideros térmicos.

Figura 35. Potencial de estrategia de área verde por uso del suelo al 2030.



Fuente: Elaboración propia producto de la simulación.

En los tres temas anteriores el uso mixto prácticamente no fue mencionado debido a su poco potencial; sin embargo resulta importante señalar la manera en que puede ser incluido. El uso mixto, según el PDUCP, se compone de almacenamiento y servicios, al comercio y la industrial. En la ciudad se localiza próximo a las zonas industriales, su tipología arquitectónica corresponde a edificaciones tipo almacén construidos tanto de concreto y mampostería de block como de estructura y cubierta metálica; sus exteriores se caracterizan por tener acceso a vialidades primarias, estacionamientos, zonas de carga y descarga y poca o nula área verde.

Con base en lo anterior, se recomienda considerar a este uso de la misma manera que el industrial donde la estrategia de azoteas es la de mayor importancia, sin dejar de lado la reforestación donde lo permita sobre todo a manera de barrera o amortiguamiento.

6.4 Discusión

Uno de los objetivos del modelado meteorológico en regiones urbanas es proporcionar una representación del medio ambiente urbano desde la escala regional hasta el nivel de microclima (nivel de edificación). Sin embargo, debido a la complejidad para representar todos los procesos (sub escalas), no ha sido posible desarrollar un modelo único que cubra todas las necesidades

(Zehnder y Grossman-Clarke, 2009). Además, lo heterogéneo de las regiones urbanas introduce un nivel adicional de complejidad en comparación con el modelado de superficie (interacciones entre la atmósfera y la superficie terrestre y el océano).

En el espacio urbano, el intercambio de energía con la atmósfera se produce en parte por la turbulencia inducida en la superficie causada por la fricción y por la radiación solar absorbida que la calienta. Así, el cambio de temperatura resultante depende de las características de los materiales como lo es la conductividad, la cual determina la eficacia con que se transmite calor a través de los materiales. En este sentido, los cambios en la cobertura del suelo como resultado del proceso de urbanización intensifican el calentamiento de la atmósfera.

El modelo dinámico desarrollado en esta investigación integra lo anterior a través de las estrategias de mitigación-adaptación ante la ICU y la tendencia de expansión urbana en términos del uso del suelo. Ambos aspectos hacen referencia a una secuencia de eventos determinados en el tiempo (por ejemplo, la demanda de suelo destinado a la industria y cómo contribuye al calentamiento intraurbano), de esta manera, cada intervalo de tiempo modelado actualiza los parámetros de cada uso del suelo y registra el potencial de mitigación-adaptación resultante. Dado que las relaciones en el modelo dinámico pueden ser multidireccionales, se le considera una herramienta para la toma de decisiones en términos de planeación urbana.

El modelo desarrollado tiene cualidades distintivas que ofrecen una perspectiva diferente sobre la relación expansión urbana y mitigación-adaptación de la ICU. A diferencia de otros métodos no sustentados en dinámica de sistemas, el modelo presentado ofrece la capacidad de generar escenarios complejos utilizables en planeación urbana y gestión de suelo.

Por lo anterior, los resultados obtenidos muestran la conveniencia de utilizar la modelación dinámica como una herramienta aplicada a la planeación urbana con enfoque hacia la mitigación y adaptación del cambio climático global. En relación a utilizar las estrategias de mitigación de la ICU, los resultados muestran que la mayor eficacia se obtiene al aplicarlas de manera global en todos los usos del suelo, de lo contrario, sólo se obtendrían resultados parciales o sectorizados en la ciudad. Tanto las azoteas frescas, los pavimentos frescos, la reforestación y áreas verdes, resultaron ser estrategias de mitigación-adaptación eficaces para las condiciones morfológicas y climáticas de Mexicali.

Los resultados de la simulación también contribuyen a fomentar el uso de las estrategias en los procesos de urbanización, diseño y construcción de edificios, además de aportar elementos para sustentar modificaciones a los procesos de planeación urbana, así como a los reglamentos vigentes de edificación y urbanización. Según lo observado, los materiales utilizados en la construcción de azoteas y pavimentos juegan un papel muy importante en lo que se refiere al aumento de la temperatura urbana, sin olvidar la importancia de las áreas verdes; por lo tanto, son las estrategias enfocadas a modificar las características de las superficies horizontales en la ciudad las que ofrecen mayor potencial de mitigación de la ICU.

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; PEACCB, 2010); este aumento intensificará aún más la ICU, por consiguiente se deben considerar las estrategias utilizadas en esta investigación al elaborar políticas de desarrollo urbano, además de actualizar los diferentes instrumentos normativos 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.

Con base en lo expuesto en esta investigación, es indudable que se requiere de nuevas formas de abordar la ciudad para su planeación futura. Como se ha mostrado, los desafíos impuestos por la ICU al proceso de urbanización y expansión de la ciudad requieren tanto de estrategias que permitan mitigar la problemática actual como propuestas de adaptación futura. Sin embargo, tanto la política actual de desarrollo urbano y ordenamiento territorial impulsada por la SEDATU, como los esquemas actuales de planeación urbana basados en la compatibilidad de usos del suelo, ofrecen posibilidades limitadas para tal fin, por lo que resulta necesario transitar hacia nuevos paradigmas de planeación urbana que además de considerar los desafíos ambientales de la urbanización y del cambio climático, permitan una visión prospectiva de la ciudad.

En este sentido, la ciudad compacta de alta densidad es el modelo urbano que recurrentemente se menciona como una solución al problema en la literatura, sin embargo estudios recientes como el de Yuan y Chen (2011) encuentran que tampoco la ciudad de alta densidad es la solución, más aún, concluyen en su estudio que los esquemas de planeación urbana deben considerar disminuir la densidad del uso del suelo.

Lo anterior deja de manifiesto que tanto el problema como la solución de la ICU no están en un modelo de ciudad, sino en el balance e interacción compleja de todos los elementos que conforman. Esto define por un lado la importancia de la morfología, el uso y las actividades en el suelo urbano, también establece la necesidad de abrir líneas de investigación sobre el tema.

6.5 Conclusiones

Definir de forma precisa un sistema complejo como lo es la ciudad y después conjugarlo con una serie de estrategias dirigidas a mitigar y adaptarse al cambio climático urbano es una tarea prácticamente imposible, por ello se tomó la decisión de abordar esta tesis a través de la construcción de un modelo que explicara de manera simple pero lo más cercana a la realidad este proceso. En esta tesis se abordó la mitigación y adaptación de la ICU en un contexto de expansión urbana y para ello, se incluyeron como variables las estrategias de mitigación-adaptación y las propias utilizadas en la planeación urbana como el uso del suelo.

El método propuesto se apoyó en la modelación dinámica como herramienta de análisis, la cual resultó ser útil para determinar el potencial de mitigación y adaptación que ofrece la estructura urbana actual y futura de la ciudad. 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 posibilidades de mitigación.

Este método resultó ser adecuado para identificar, analizar y simular escenarios, que permitan establecer criterios de mitigación de la ICU en esquemas de planeación urbana. En este sentido, el método y los resultados aquí presentados podrán ser utilizados para diseñar parámetros de configuración de usos del suelo y tipologías de edificación 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.

A continuación, con el fin de detallar las conclusiones de la tesis en términos de los planteamientos iniciales, se dan las respuestas al: planteamiento del problema, el objetivo general y la hipótesis:

En cuanto al planteamiento del problema que establece las posibilidades de tratar a la mitigación-adaptación de la ICU como parte de un esquema de planeación sustentable, se puede considerar su respuesta a través del modelo dinámico desarrollado, con la cual se dio a conocer el comportamiento de la temperatura de superficie y su relación con el uso del suelo y la estructura urbana futura establecida en el PDUCP.

La propuesta del modelo bajo los conceptos de expansión urbana, mitigación y adaptación, a través del cual se evaluará la dosificación del uso del suelo y con ello evaluar por una parte las posibilidades de mitigación de la ICU actuales y de seguir con el mismo modelo de planeación urbana las posibilidades de adaptación futuras, resultó ser conveniente para los fines de la investigación enfocados a:

El desarrollo de un enfoque teórico de planeación urbana sustentable para zonas con clima árido extremo, enfocado a la adaptación de cambio climático a través de la mitigación-adaptación de la ICU.

Para definir con base en eficacia los criterios y estrategias de mitigación-adaptación de la ICU dentro de un esquema de planeación urbana sustentable para zonas con clima árido extremo, así como analizar el comportamiento de la ICU y sus tendencias con base en la estructura urbana propuesta de usos del suelo del PDUCP; información con la cual se construyeron escenarios de aplicación de estrategias de mitigación-adaptación y se evaluó su eficacia a través de simulación dinámica.

En relación al objetivo general, se estableció la relación que existe entre los usos y cobertura del suelo y las posibilidades de mitigación y/o adaptación de la ICU en Mexicali; para ello la modelación dinámica resultó una herramienta clave. Además, el modelo muestra las interrelaciones de cada uno de los cinco usos del suelo utilizados y las estrategias de mitigación-adaptación, incluidos los planteamientos de expansión urbana y crecimiento poblacional.

Por lo anterior, se considera que los objetivos fueron cumplidos, debido a que la modelación dinámica consideró al medio ambiente urbano como un espacio en constante transformación y

crecimiento, aun cuando su conformación es muy simple este incluye por una parte los aspectos más importante del ámbito urbano y por otra las características principales de las estrategias de mitigación-adaptación.

Por último, sobre la hipótesis planteada en la cual se considera que al incorporar las estrategias de mitigación de la ICU al uso del suelo, para después construir y analizar escenarios de mitigación-adaptación a través de modelación dinámica y con ello integrar el tema de la ICU al proceso de planeación urbana. En este sentido, la conclusión es positiva, dado que los resultados de la tesis, además de poder ser incluidos al proceso de planeación y con ello a la agenda de desarrollo urbano, se pueden utilizar para la conformación de políticas públicas.

Es indudable que los resultados presentados pueden ser ampliados al incluir más variables en el modelo, por ejemplo: destinos para cada uso del suelo, emisiones térmicas por tipología de edificación, consumo energético por tipología de edificación, calidad y sanidad de las áreas verdes, calidad del aire, por mencionar algunas. En este sentido y en la medida que se genere mayor información de la ICU de Mexicali y ésta se pueda incluir al modelo para ser relacionada con el tejido urbano y las políticas de planeación y desarrollo urbano, se obtendrá información que contribuya al desarrollo de medidas de adaptación ante cambio climático.

6.6 Recomendaciones finales

Al igual que en otros trabajos de investigación los resultados de esta tesis pueden contribuir a la sociedad, para ello, es necesario que éstos se den a conocer a las autoridades correspondientes, así como a los legisladores locales para que en conjunto elaboren las políticas públicas necesarias en beneficio de los residentes de Mexicali. Por otra parte es necesario no perder de vista uno de los principales obstáculos a vencer según Gartland (2011: 155) *“El acceso general a la información sobre el problema de la ICU en la ciudad, así como de las estrategias de mitigación-adaptación y sus beneficios. De tal manera que transitar a un estado de cambio será a través de la educación y conocimiento en el tema”*.

Con relación a lo anterior y a manera de establecer las posibilidades futuras de la investigación se pueden considerar los siguientes ejemplos, el primero de ellos, el Plan de Acción de Comunidades Frescas (*Cool Community Action Plan*) en los Estados Unidos (Gartland, 2011), el cual se desarrolla bajo seis fases principales: motivar, investigar, educar, demostrar, iniciar y al final legislar. El segundo mencionado por Yamamoto (2006) las Directrices de Diseño

Arquitectónico para Mitigar el efecto de la Isla de Calor Urbana en Japón, a través de las cuales se busca alentar a los propietarios de edificios a adoptar medidas de mitigación. El mismo autor también describe el sistema CASBEE-HI como una herramienta para la evaluación de los efectos de las medidas de mitigación.

Los ejemplos anteriores no son los únicos y así lo demuestra el Proyecto Global de Carbono (*Global Carbon Project*) a través de su iniciativa Regional y Urbana de Manejo de Carbono (*Urban and Regional Carbon Management*); en su página de Internet se pueden consultar otros instrumentos aplicados a ciudades en distintos países en los cinco continentes.

Si bien es cierto que los resultados de esta investigación no se pueden equiparar con los planes de acción mencionados anteriormente, sí permiten establecer de manera certera el camino a seguir en el tema de la mitigación actual y adaptación futura de la ICU en la ciudad y su incorporación al proceso de planeación urbana. Una de las limitantes principales de la investigación se relaciona con la conformación del modelo, el cual fue construido *ad hoc* para los fines de esta tesis; sin embargo, existen posibilidades de ampliar su capacidad e incorporar una paleta mayor de variables. Para ello, se requiere continuar con la investigación de la ICU en Mexicali y conforme se obtengan más datos sobre el problema y como éstos forman parte del sistema urbano, se estará en posibilidades de realizar los ajustes al modelo y con ello la oportunidad de evaluar una estrategia de acción más completa como la presentada en los planes mencionados con anterioridad.

No obstante, a la fecha de esta investigación se han generado dos publicaciones arbitradas y cuatro ponencias en congresos, en los cuales se han presentado resultados parciales. Aún queda pendiente una publicación que muestre a manera de síntesis los resultados globales de la investigación la cual se estará trabajando en fechas posteriores.

Referencias bibliográficas

Adger, W.N., Arnell, N.W., Tompkins, E.L. (2005). Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environmental Change* 15: 77–86.

Aguilar (2004). Los Asentamientos Humanos y El Cambio Climático en México un Escenario Futuro de Vulnerabilidad Regional. En Gay García Carlos (Compilador) (2000). México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, US Country Studies Program. México, (pp. 129-144). ISBN 968-36-7562-X.

Akbari, Hashem (2005). Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation. LBNL-58285 Consultado el 28 de octubre del 2014 en: <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/860475>

Akbari, H., P. Martien y A. Rosenfeld (1992a). Using Light-Colored Surfaces to Cool Our Communities. In Akbari, H., S. Davis, S. Dorsano, J. Huang, & S. Winnett (Eds.) *Cooling our Communities: A Guidebook on Tree Planting and Light-Colored Surfacing* (LBL-31587), Pp. 43-52. United States Environmental Protection Agency and Lawrence Berkeley Laboratory.

Akbari, H., S. Davis, S. Dosano, J. Huang y S. Winnett (eds.) (1992b). *Cooling Our Communities: A Guidebook on Tree Planting and Light-Colored Surfacing*. United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C. Also Lawrence Berkeley National Laboratory Report LBL-31587, Berkeley, CA.

Akbari, H., y L. S. Rose (2001a). Characterizing the Fabric of the Urban Environment: A Case Study of Chicago, Illinois. LBNL-49275, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California.

Akbari, H., y L. S. Rose (2001b). Characterizing the Fabric of the Urban Environment: A Case Study of Salt Lake City, Utah. LBNL-47851, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California.

Akbari, H., L. S. Rose, y H. Taha (1999). Characterizing the Fabric of the Urban Environment: A Case Study of Sacramento, California. LBNL-44688, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California.

Akashi Mochida, (2009). Japanese Experience of Technology and Policy for Urban Heat-Island Mitigation. International Workshop on Countermeasures to Urban Heat Islands. Tokyo, Japan 3-4 August 2006.

Álvarez de la Torre Guillermo (2002). Las ciudades mexicanas y Mexicali. En *Mexicali 100 Años, Arquitectura y Urbanismo en el Desierto del Colorado*. Coord. Editorial Lucero Velasco Héctor Manuel. Editorial Patria. Pág. 33-42

Anderson Rachel (2000). Local government and urban heat island mitigation. *Environmental Sciences*, UC Berkeley.

Andranovich Gregory D. y Gerry Riposa (1993). *Doing Urban Research*, Applied Social Research Methods Series, Vol. 33. ISBN-13: 978-0803939899 Primera edición

- Ansari Jamal (2009). Revisiting Urban Planning in South Asia. Regional study prepared for Revisiting Urban Planning: Global Report on Human Settlements 2009. Disponible en: <http://www.unhabitat.org/grhs/2009>
- Arguello, L., R. Halac, E. Ventura, et al. (1996). Hacia una Ciudad Sustentable. Diseño y Sociedad, Num. 6, México. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, pp.31-39. Consultado digitalmente el 3 de octubre del 2010 en: http://148.206.107.10/biblioteca_digital/estadistica.php?id_host=11&tipo=ARTICULO&id=4746&archivo=11-292-4746pxc.pdf&titulo=Hacia una ciudad sustentable
- Arnfield, J. (2003). 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. pp.1-26.
- Baker, L., A. J. Brazel, N. Selover, C. Martin, N McIntyri, F. Steiner, A. Nelson y L. Musacchio (2003). Urbanization and Warming of Phoenix (Arizona, USA): Impacts, Feedbacks and Mitigation. *Urban Ecosystems* Vol. 6. Pág. 183-203
- Barton R. Jonathan (2009). Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades-regiones. *Revista de Geografía Norte Grande*, 43: 5-30.
- Bernal Rodríguez A. Francisco (2002). Mexicali: 100 años de agua y vida. En *Mexicali 100 Años, Arquitectura y Urbanismo en el Desierto del Colorado*. Coord. Editorial Lucero Velasco Héctor Manuel. Editorial Patria. Pág. 17-32
- Brazel Anthony, Nancy Selover, Russell Vose y Gordon Heisler (2000). The tale of two climates—Baltimore and Phoenix urban LTER sites. *Climate Research*, Vol. 15: 123–135
- Brundtland, Gro Harlem (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Consultado digitalmente el 23 de octubre de 2014 en: <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>
- Bulkeley Harriet, Heike Schroeder, Katy Janda, Jimin Zhao, Andrea Armstrong, Shu Yi Chu y Shibani Ghosh (2009). Cities and Climate Change: The role of institutions, governance and urban planning. Report prepared for the World Bank Urban Symposium on Climate Change
- Cabrera Quispe Juan E., (2008). El derecho de propiedad, la función social del suelo y la normativa urbana. *Dimensiones*, Colegio de Arquitectos de Cochabamba. Vol. 1, Pág. 120-134.
- Camargo-Bravo, Adriana y García-Cueto, Rafael O. (2012). 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
- Castells Manuel (1971). *Problemas de Investigación en Sociología Urbana*. México. Siglo XXI.
- Centro de Transporte Sustentable (CTS) (2010). *Hacia Ciudades Competitivas Bajas en Carbono*. Embajada Británica. SEDESOL. INFONAVIT. México. Abril de 2010
- Changnon Stanley (1992). Inadvertent Weather Modification in Urban Areas: Lessons for Global Climate Change. *Bulletin of the American Meteorological Society* Vo. 73 No. 5 Pp. 619-752
- Chow, Winston T. L., Dean Brennan, Anthony J. Brazel (2012). 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>

City of Las Vegas (2010). Summary Report Urban Heat Island Effect. City of Las Vegas, Office of Sustainability. Consultado 30 septiembre del 2014 en: http://www.lasvegasnevada.gov/files/UHI_Report_2010-2.pdf

CICC (2007). Estrategia Nacional de Cambio Climático. Comisión Intersectorial de Cambio Climático. SEMARNAT.

Clark, William C. (2001). A Transition toward Sustainability. 27 Ecology Law Quarterly, Pág. 1021-1040.

Comrie, A. C. (2000). Mapping a Wind-Modified Urban Heat Island in Tucson, Arizona (with Comments on Integrating Research and Undergraduate Learning) Bull. Amer. Meteor. Soc., Vol. 81. pp. 2417-2431

CONAVI (2014). Perímetros de Contención Urbana 2014. Comisión Nacional de Vivienda. Consultado el 30 de octubre del 2014 en: <http://ruvsig.azurewebsites.net>

Correa E.N., Flores Larsen S. y Lesino G. (2003). Isla de Calor Urbana: Efecto de los pavimentos. Informe de Avances. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 7, No. 2. ISSN 0329-5184

Dalal-Clayton Barry y Sadler Barry (2004). Sustainability Appraisal a Review of International Experience and Practice. International Institute for Environment and Development. London WC1H 0DD, England, UK.

David Wilk, Carlos Pineda Mannheim, Dianna Moyer (2006). Lineamientos Estratégicos para la Gestión Ambiental Urbana en Centro América. RE2-06-025, Serie de Estudios Económicos y Sectoriales. Banco Interamericano de Desarrollo.

Davoudi, Simin (2009) Framing the role of spatial planning in climate change, Newcastle University, GURU Electronic Working Paper 43. Consultado el 05 de noviembre del 2014 en: <http://www.ncl.ac.uk/guru/publications/working/documents/EWP43.pdf>

De Frutos, Pablo y Sonia Esteban (2009). Estimación de los beneficios generados por los parques y jardines urbanos a través del método de valoración contingente. Urban Public Economics Review, núm. 10, 2009, pp. 13-51, ISSN: 1697-6223

De Sherbinin Alex, Schiller Andrew y Pulsipher Alex (2007). The vulnerability of global cities to climate hazards. Environment and Urbanization, Vol. 19 No. 1 Pág. 39-64. doi: 10.1177/0956247807076725

Deri, A. y Alam, M. (2008). Local Governments and Climate Change, Discussion paper, Commonwealth Secretariat, London

DOF (2009). Programa Especial de Cambio Climático 2008-2012. Diario Oficial de la Federación. Tomo DCLXXI, No. 21, 28 Agosto del 2009.

DOF (2013). Diario Oficial de la Federación. Programa Sectorial de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano 2013-2018. Tomo DCLXXI, No. 21, 16 de diciembre del 2013.

Dymén Christian y Anu Henriksson (2009). Spatial Planning and its contribution to climate friendly and sustainable transport solutions. Nordregio Working Paper 2009. ISSN 1403-2511

Earth Gauge (2014). National Environmental Foundation. Consultado el 31 de octubre del 2014 en: <http://www.earthgauge.net/>

ENCC (2013). Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40. Gobierno de la República

Engelen, G., R. White, M. Van der Meulen y B. Hahn (2002). Sustainable Developments of Islands: A Policy Support Framework for the Integrated Assessment of Socio-economic and Environmental Development. In: Sustainable Development for Island Societies: Taiwan and the World. H.-H. M. Hsiao, C.-H. Liu and H.-M. Tsai. Taipei, Taiwan, Asia-Pacific Research Program, Academia Sinica and SARCS Secretariat: 251-287.

Eliasson, I. (1996). Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use. *Atmospheric Environment Part B Urban Atmosphere* 30(3), 379-392.

EPA (2008). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. United States Environmental Protection Agency. Consultado el 05 de noviembre del 2014 en: <http://www.epa.gov/heatisland/resources/compendium.htm>

European Sustainable Cities Report (1996). Expert Group on the Urban Environment. European Commission. ISBN 92-827-8259-X

Fernández Bremauntz Adrián (2012). Capacidades institucionales para la gestión del cambio climático: la experiencia de México. Banco Interamericano de Desarrollo. Nota Técnica # IDB-TN-472.

Fernández García Felipe y Alberto Martilli (2012). El clima urbano: aspectos generales y su aplicación en el área de Madrid. *Índice, revista de estadística y sociedad*. Núm. 50, pág. 21-24. Universidad Autónoma de Madrid. ISSN: 1697-2325

Field, C.B., L.D. Mortsch,, M. Brklacich, D.L. Forbes, P. Kovacs, J.A. Patz, S.W. Running and M.J. Scott (2007). North America Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 617-652.

Folch Ramon (2008). El paradigma sostenibilista. *Revista Futuros* No.20, 2008 Vol. VI. <http://www.revistafuturos.info>

Fuentes Zenón, Arturo (1995). El problema general de la planeación pautas para un enfoque contingente. Cuadernos de planeación y sistemas. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. ISBN 968-36-4513-5

Gallo, K.P., A.L. McNab, T.R. Karl, J.F. Brown, J.J. Hood and J.D. Tarpley (1993). The use of NOAA AVHRR Data for assessment of the urban heat island effect. *J. Appl. Met.* 32, 899-908

Gallo, K. P., y Owen, T. W. (1998). Assessment of urban heat islands: A multi sensor perspective for the Dallas Ft Worth, USA region. *Geocarto International* 13, Pág. 35– 41

Gallopin, Gilberto C. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change* 16: 293–303

García Cueto O. R. (2007). Los Sensores Remotos y su Aplicación en la Meteorología: Un Estudio de Caso. XVI Congreso Mexicano de Meteorología, Edición Internacional. Boca del Río, Veracruz, México del 12 al 16 de noviembre del 2007.

- García Cueto O. R., E. Jáureguio O., D. Toudert y A. Tejeda-Martínez (2007). Detection of the urban heat island in Mexicali B.C., Mexico and its relationship with land use. *Atmósfera* 20(2), 111-131
- García Cueto O. R., Tejeda M. A. y Bojórquez M. G. (2009). Urbanization effects upon the air temperature in Mexicali, B. C., México. *Atmosphere* 22(4), 349-365
- García Cueto O. R. (2011). La climatología física de Mexicali, Baja California, México. Universidad Autónoma de Baja California. ISBN 978-607-607-048-2
- García E. (1981). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM
- Gartland, Lisa (2011). Heat Islands: Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas. Earthscan LLC. ISBN 978-1-84971-298-9
- Gilman, N., Randall, D. y Schwartz, P. (2007). Impacts of climate change: a system vulnerability approach to consider the potential impacts to 2050 of a mid-upper greenhouse gas emissions scenario. San Francisco: Global Business Network
- González Reyes Pablo Jesús (1996). Crecimiento Industrial y Riesgo Urbano: el Caso de Mexicali, B.C. *Revista Estudios fronterizos*. No.34. Pág. Julio-Diciembre 1994. Universidad Autónoma de Baja California
- Gómez Lopera, Francisco (2005). Las zonas verdes como factor de calidad de vida en las ciudades. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, XXXVII (144) Pág. 417-436
- Gorsevski, Virginia, Haider Taha, Dale Quattrochi, Jeff Luvall (1998). Air Pollution Prevention Through Urban Heat Island Mitigation: An Update on the Urban Heat Island Pilot Project. 1998 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings Proceedings, 9. Washington, D.C.: American Council for an Energy-Efficient Economy.
- Grimmond Sue (2007). Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. *The Geographical Journal*. Volume 173, Issue 1, pages 83–88, DOI: 10.1111/j.1475-4959.2007.232_3.x
- Gual F. Miguel A. (2006). Hacia un marco conceptual Sistémico-Coevolutivo para el Análisis de las Políticas de Promoción de la Energía Renovable. X Jornada de Economía Crítica. Barcelona, 23 a 25 de marzo de 2006. Universidad Complutense de Madrid.
- Guzmán Obispo Rogelio (2003). Planeación Ambiental de Áreas Industriales en Mexicali, B.C. Tesis para obtener el grado de Maestro en Arquitectura. Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Arquitectura. Septiembre de 2003
- Hafner, J., y S. Q. Kidder (1999). Urban heat island modeling in conjunction with satellite derived surface/soil parameter's. *Journal of Applied Meteorology*, 38, 448-465
- Hardegree Lynn C. (2006). Spatial Characteristics of the remotely-Sensed Surface Urban Heat Island in Baton Rouge, LA.: 1988-2003. A Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in The Department of Geography and Anthropology. Louisiana State University.
- Haroon Stephen, Craig Palmer, Sajjad Ahmad y Adam Black (2013). Development of Heat Island Dataset for Las Vegas Urban Canopy City Green Analysis. University of Nevada Las

Vegas, Las Vegas. Consultado el 30 de septiembre de 2014 en: http://forestry.nv.gov/wp-content/uploads/2013/06/UHI_LasVegas_Final_Report.pdf

Heinrichs Dirk, Nuißl Henning y Rodríguez Seeger Claudia (2009). Dispersión urbana y nuevos desafíos para la gobernanza (metropolitana) en América Latina: el caso de Santiago de Chile. *Eure*, Vol. 35, núm. 104, Pág. 29-46. ISSN 0250-7161

Herson, L. J. R. y Bolland, J. M. (1990). *Urban Web: Politics, Policy, and Theory*. Nelson-Hall series in political science. ISBN: 978-0830412204

Hawkins, T. W., A. J. Brazel, W. L. Stefanov, W. Bigler, E. M. Saffell (2004). The Role of Rural Variability in Urban Heat Island Determination for Phoenix, Arizona. *J. Appl. Meteor.* Vol. 43. pp. 476-486

Hewitt Virginia, Eric Mackres y Kurt Shickman (2014). *Cool Policies for Cool Cities: Best Practices for Mitigating Urban Heat Islands in North American Cities*. American Council for an Energy-Efficient Economy and Global Cool Cities Alliance. Report Number U1405

Hitchcock David (2006). *Strategic Plan for Urban Heat Island Mitigation in the Houston Region*. International Workshop on Countermeasures to Urban Heat Islands. Tokyo, Japan 3-4 August 2006.

INE (1997). México: Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Instituto Nacional de Ecología y Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, México.

INEGI (2010). Censo de Población y Vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Datos consultados en <http://www.inegi.org.mx> fecha de consulta: 17 septiembre de 2013

INEGI (2009). Censos Económicos 2009. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Datos consultados en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=2> fecha de consulta: 17 septiembre de 2013

Inter-Ministry Coordination Committee to Mitigate Urban Heat Island (IMCC-MUHI) (2004). *Outline of the Policy Framework to Reduce Urban Heat Island Effects*. Tokyo Japón.

IPCC (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Synthesis Report. Summary for Policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change. 8th Session of Working Group II of the IPCC, Brussels, April 2007.

IPCC (2007a) In Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.), *Climate Change 2007: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

IPCC (2009). *SCOPING FOR THE IPCC 5TH ASSESSMENT REPORT: Concept paper for an IPCC Expert Meeting on Human Settlement, Water, Energy and Transport Infrastructure—Mitigation and Adaptation Strategies*. Intergovernmental Panel on Climate Change (6.IV.2009). Doc.16 Thirtieth Session, Agenda item: 4. Antalya, 21-23 April 2009.

Jáuregui O. Ernesto (1997). Heat Island Development in Mexico City. *Atmospheric Environment* Vol. 31, No. 22, pp. 3821-3831, 1997.

Jáuregui O. Ernesto (2005). Possible impact of urbanization on the thermal climate of some large cities in México. *Atmósfera* 18(4), Pág. 247-248.

Johnson, C.A.; Ding, Y.; Griggs, D.J. et al., eds (2001). How Much is the World Warming? Climate Change 2001: Working Group I: The Scientific Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change. ISBN 978-0-521-80767-8. http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/052.htm

Jusuf, S.K. y N.H. Wong (2009). 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.

Kallis Giorgos (2007). When is it coevolution? *Ecological Economics* 62, 1–6. Elsevier.

Larraín Sara (2004). El Paradigma de la Sustentabilidad: Perspectiva Ecologista y Perspectiva de Género. *Polis, Revista de la Universidad Bolivariana*, año/vol. 3, número 009. Universidad Bolivariana. Santiago, Chile.

Lazzarini Michele, Prashanth Reddy Marpu y Hosni Ghedira (2013). Temperature-land cover interactions: The inversion of urban heat island phenomenon in desert city areas. *Remote Sensing of Environment*, Volume 130, 15 March 2013, Pages 136–152

Lee Chan, Johanna; Andrea Valencia; David Vidales, (2011). Modelo de Crecimiento Urbano: Ciudad Compacta vs. Ciudad Dispersa. En Marín G., Andrés. *La tectónica. Grafías Disciplinarias de la UCP*, N°15. Pág. 25-27

Ley García J. y Calderón Aragón G. (2008). De la vulnerabilidad a la producción del riesgo en las tres primeras décadas de la ciudad de Mexicali, 1903-1933. *Región y Sociedad*, Vol. XX No. 41

Ley García J. y Fimbres Durazo N.A. (2011). La expansión de la ciudad de Mexicali: una aproximación desde la visión de sus habitantes. *Región y Sociedad*, Vol. XXIII No. 52

Leyva Camacho Osvaldo (2009). Ponencia: Grado de Integración Urbana de la Ciudad de Mexicali. Primer congreso de egresados del 9 al 11 de septiembre de 2009, Colegio de la Frontera Norte.

Lezama, José Luís (2001). El medio ambiente hoy: Temas cruciales del debate contemporáneo. El Colegio de México, Centro de Estudios Demográficos y de Desarrollo Urbano. *Jornadas* 134. ISBN 968-12-1034-4.

Li Dan, Elie Bou-Zeid y Michael Oppenheimer (2014). The effectiveness of cool and green roofs as urban heat island mitigation strategies. *Environ. Res. Lett.* 9, pp 1-16 doi:10.1088/1748-9326/9/5/055002

López Rangel Rafael (2007). Las actuales transformaciones de los paradigmas urbanos. Una obligada reflexión epistemológica. En Juan Donato Lombardo (compilador), *Paradigmas Urbanos. Conceptos e ideas que sostienen la ciudad actual*, Universidad Nacional de General Sarmiento, Buenos Aires, Argentina.

Meredith H. Amanda (2004). Designing with Climate: Using Parking Lots to Mitigate Urban Climate. Master of Landscape Architecture Thesis. Department of Landscape and Urban Studies. Virginia Polytechnic Institute & State University. USA.

- Montávez, J.P., Rodríguez, A. y Jiménez, J.I. (2000). A Study of the Urban Heat Island of Granada, *International Journal of Climatology*, 20 (8), 899-911
- Muñiz Iván y García-López Miquel Ángel (2013). Anatomía de la dispersión urbana en Barcelona. *Eure*, vol. 39, núm. 116, Pág. 189-219. ISSN 0250-7161
- Nájera González O, Bojórquez Serrano J, Cifuentes Lemus J, Marceleño Flores S. (2010). Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit. *Revista Biociencias* Julio 2010 Vol. 1 Núm. 1 Año 1, pág. 19-29
- National Research Council (2010). *Pathways to Urban Sustainability: Research and Development on Urban Systems*. Washington, D.C. The National Academies Press.
- Nichol J.E. (1996). High-Resolution Surface Temperature Patterns related to Urban Morphology in a Tropical City: a Satellite-based Study, *Journal of Applied Meteorology*, 35, 135–146.
- Norgaard Richard y Giorgos Kallis (2011). *Coevolutionary Contradictions: Prospects for a Research Programme on Social and Environmental Change*. Geografiska Annaler Serie B. Swedish Society for Anthropology and Geography.
- OECD (2009). *Policy Guidance on Integrating Climate Change Adaptation into Development Co-operation*. OECD Publishing. ISBN 978-92-64-05476-9
- Oke, T.R. (2009). *Boundary layer climates: Second edition*. 2. New York, NY: Routledge. ISBN: 978-0-415-04319-9.
- Oke, T.R. (1982). The Energetic Basis of the Urban Heat Island, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 1-24.
- Oke, T.R. (1987). *Boundary Layer Climates (2nd edition)*. London: Routledge.
- Oyama Ken (1986). *La Coevolución*. Revista Ciencias. Facultad de Ciencias. UNAM. ISSN: 0187-6376.
- ONU-Hábitat (2011). *Las ciudades y el cambio climático: orientaciones para políticas*. Informe mundial sobre asentamientos humanos 2011. ONU-Hábitat. Earthscan. ISBN 978-92-1-132330-6
- ONU (1976). *Organización de Naciones Unidas, Principios Generales*, puntos 1 y 10, Vancouver, 1976, pp. 36-37.
- Padilla Lilia Susana y Sotelo, María del Carmen Juárez Gutiérrez (2000). La dimensión espacial del crecimiento poblacional de Mexicali. *Investigaciones Geográficas, Boletín del instituto de Geografía, UNAM* Núm. 43. 2000. pp. 88-104
- Palomares León Humberto (2003). *Crecimiento, Estructuración y Planeación Intraurbanas en ciudades intermedias del Noreste de México*. El Colegio de la Frontera Norte. ISBN 968-7947-09-8
- Parussini Alejandra M. J. (2012). El proceso de suburbanización del cordón oeste metropolitano de Rosario. *Ideas de Ciudad. Cuaderno Urbano. Espacio, Cultura, Sociedad - Vol. 12 - N° 12 - Pág. 115-135* ISSN1666-6186
- Pena-Salmon C. A. y Rojas-Caldelas R. I. (2009). *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

PEACCBC (2010). Programa Estatal de Acción ante Cambio Climático. Consultado el 19 de junio del 2011 en: <http://peac-bc.cicese.mx/>

Pearlmutter, D., P. Berliner and E. Shaviv (2006). Current Research and Challenges in Urban Climate Research in Arid Regions PREPRINTS SIXTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE 12-16 JUNE, 2006 GÖTEBORG, SWEDEN International Association for Urban Climate World Meteorological Organization Urban Climate Group, Department of Geosciences, Göteborg University. pp 28-31

Perico-Agudelo, David. (2009). El espacio público de la ciudad: una aproximación desde el estudio de sus características microclimáticas. Cuadernos de Vivienda y Urbanismo. Vol. 2, No. 4, pág. 278 – 301. Pontificia Universidad Javeriana. ISSN: 2145-0226

POE (2007). Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población Mexicali, B.C. 2025. Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Baja California. Tomo CXIV, Número 10

POE (1971). Reglamento de fraccionamientos del estado de Baja California. Periódico Oficial del Estado de Baja California. Sección I, Tomo LXXVIII, No.10, 10 Abril de 1971.

Pomerantz, M., B. Pon, H. Akbari, & S.C. Chang (2000). The Effect of Pavements' Temperatures on Air Temperature in Large Cities (LBNL-43442). Berkeley, CA.: Lawrence Berkeley National Laboratory.

Quereda Sala José, Enrique Montón Chiva y José Escrig Barberá (2009). El cambio climático en las regiones de Valencia y Murcia: La sombra analítica de un auténtico troyano. Investigaciones Geográficas, Núm. 49 pp. 109-127. ISSN: 0213-4691

Quintero Bosetti, Mariaelisa; Gómez Rosales, Luz J. (2012). Del medio ambiente al espacio urbano. Ciudades latinoamericanas en la transición de ciudades difusas a ciudades compactas. Provincia, núm. 27, enero-junio, 2012, pp. 43-76

Ramírez J. (2004). Futuros diversos: Corazón de la prospectiva. Revista Universidad de Guadalajara. Futuro y Prospectiva No. 26. ISSN: 1405-8588 Consultado el 10 de mayo de 2014 en: <http://www.cge.udg.mx/revistaudg/rug26/art1dossier26.html>

Ritter O. Walter, Sergio Guzmán R., Norma Sánchez-Santillán, Juan Suarez S., Carmen Corona V., Hipólito Muñoz N., Alfredo Ramos V., Rogelio Rodríguez M. Y Tahimi E. Pérez E. (2002). El clima como sistema complejo adaptativo en coevolución. Revista Ciencia y Mar. Mayo/Agosto del 2002 Vol. VI Número 17 ISSN 1665-0808

Roberts Debra (2009). Thinking Globally, Acting Locally: Institutionalizing Climate Change at the Local Government Level in Durban, South Africa. En: Adapting Cities to Climate Change Understanding and Addressing the Development Challenges. Pág. 253-270. International Institute for Environment and Development, 2009. ISBN: 978-1-84407-745-8.

Rodríguez Roberto (2007). Los paradigmas subyacentes en los estudios urbanos. En Paradigmas Urbanos: conceptos e ideas que sostienen la ciudad actual. Juan Donato Lombardo (compilador). 1ra Ed. Universidad Nacional de General Sarmiento. ISBN 978-987-9300-87-9

Rojas Caldelas R. I. (2000). Evaluación Ambiental Urbana: Propuesta Metodológica y aplicación a un estudio de caso, Mexicali, Baja California. Universidad Autónoma de México, México, D.F.

Rojas Caldelas R. I., Gaona A.T., Arredondo Vega J. A., Peña Salmón C. A., Corona Zambrano E. A., Venegas C. R., Baeza H. O., (2005). Planeación Urbana y Regional, un Enfoque hacia la Sustentabilidad. Universidad Autónoma de Baja California. ISBN 970-722-415-0.

Rosenzweig Cynthia, William D. Solecki, Stephen A. Hammer y Shagun Mehrotra (2011). Climate Change and Cities First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network. Center for Climate Systems Research Earth Institute, Columbia University. Cambridge University Press. ISBN 978-1-107-00420-7

Rosheidat Akram y Bryan Harvey (2010). Optimizing the Effect of Vegetation for Pedestrian Thermal Comfort and Urban Heat Island Mitigation in a Hot Arid Urban Environment. Fourth National Conference of IBPSA-USA. New York City, New York. August 11 – 13, 2010 Pág. 230-237.

Roth, M., Oke, T. R., y Emery, W. J. (1989). Satellite-derived urban heat island from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. International Journal of Remote Sensing 10, Pág. 1699– 1720

Saifi Basim y Lars Drake (2008). A coevolutionary model for promoting agricultural sustainability. Ecological Economics 65, 24–34. Elsevier.

Saifi Basim (2004). The Sustainability of Swedish Agriculture in a Coevolutionary Perspective. Doctoral dissertation. Department of Rural Development and Agroecology Uppsala. ISSN 1401-6249 ISBN 91-576-6499-4.

Samaniego López M. Antonio (2008). El control del río Colorado como factor histórico. Revista Frontera Norte Vol. 20 Num. 40 pp. 49-78

Samaniego Joseluis (Coord.) (2009). Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe: una reseña. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)

SEDESOL (2012). Guía Municipal de Acciones frente al Cambio Climático. Con énfasis en desarrollo urbano y ordenamiento territorial.

Spronken-Smith, R.A. y T.R. Oke (1998). The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. International Journal of Remote Sensing, 19, 2085-2104.

Scott, K.I., J.R. Simpson, y E.G. McPherson (1999). Effects of Tree Cover on Parking Lot Microclimate and Vehicle Emissions. Journal of Arboriculture, 25 (3), 129-142

Sánchez A. Roberto (2002). Sustentabilidad Urbana, Descentralización y Gestión Local. En: La Transición hacia el Desarrollo Sustentable. Perspectivas de América Latina y el Caribe. INE. Pág. 305-326.

Sánchez-Rodríguez Roberto (2009). Learning to adapt to climate change in urban areas. A review of recent contributions. Current Opinion in Environmental Sustainability, Volume 1, Issue 2, December 2009, Pages 201-206

Sánchez-Rodríguez Roberto (2009a). Understanding and Improving Urban Responses to Climate Change. Reflection for an Operational Approach for Adaptation in Low and Middle-Income Countries. Fifth Urban Research Symposium: Cities and Climate Change: Responding to the Urgent Agenda.

- Satterthwaite David, Saleemul Huq, Mark Pelling, Hannah Reid and Patricia Romero Lankao (2007). Adapting to Climate Change in Urban Areas. The possibilities and constraints in low- and middle-income nations. Human Settlements Group and the Climate Change Group at the International Institute for Environment and Development (IIED).
- Serra Pardo J. Antonio (2007). Estudio de la Isla de Calor de la Ciudad de Ibiza. Investigaciones Geográficas. No. 44 pp. 55-73 ISSN: 0213-4691
- Shreve, F. y I. L. Wiggins, (1964). Vegetation and flora of the Sonoran Desert. Vol. 1 Stanford Univ. Press, Stanford, California.
- Smit, B., Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. Global Environmental Change 16 (3), 282–292
- Spronken-Smith, R.A. y T.R. Oke, (1998). The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. International Journal of Remote Sensing, 19, 2085-2104
- Sproul Julian, Man Pun Wan, Benjamin H. Mandel, Arthur H. Rosenfeld (2014). Economic comparison of white, green, and black flat roofs in the United States. Energy and Buildings 71 pp. 20–27 <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.058>
- Sorin Cheval, Alexandru Dumitrescu and Aurora Bell (2009). The urban heat island of Bucharest during the extreme high temperatures of July 2007. Theoretical and Applied Climatology 97, 391–401
- Stone Brian y Michael O. Rodgers (2001). Urban form and thermal efficiency. How the design of cities influences the urban heat island. APA Journal Vol. 67 No. 2: 186-198
- Taha, H., S. Douglas, & J. Haney (1997). Mesoscale Meteorological and Air Quality Impacts of Increased Urban Albedo and Vegetation. Energy and Building, 25, 169-177
- Tan Jianguo, Youfei Zheng, Xu Tang , Changyi Guo, Liping Li, Guixiang Song, Xinrong Zhen, Dong Yuan, Adam J. Kalkstein, Furong Li y Heng Chen (2010). 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
- Tang, J.; Wang, L. y Yao, Z. (2008). Analyses of urban landscape dynamics using multi-temporal satellite images: A comparison of two petroleum-oriented cities. Landscape and Urban Planning, Vol. 87, No. 4, pág. 269-278.
- Tejeda Martínez Adalberto y Rodríguez Viqueira Luís (2007). Estado de la Investigación de los Aspectos Físicos del Cambio Climático de México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, abril, número 62, pp. 31-43. Universidad Nacional Autónoma de México. ISSN 0188-4611.
- Toudert, Djamel, (1996). La Articulación Urbana con el Clima Intrarregional y el Estudio de las Islas de Calor en la Ciudad de Mexicali. Revista Caláfia Vol. VIII, Núm. 4 1996 Pág. 29-35.
- Torok, S.J., Morris, C.J.G., Skinner, C. y Plummer, N. (2001). Urban heat island features of southeast Australian towns. Australian Meteorological Magazine 50: 1-13
- Ugalde Vicente (2011) ¿Hacia una ciudad sostenible en México? en Enrique Cabrero Mendoza (coordinador), Ciudades Mexicanas. Desafíos en Concierto. Fondo de Cultura Económica, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. México. ISBN 978-607-16-0817-8

- UNEP (2012). United Nations Environment Programme. Division of Technology, Industry, and Economics. <http://www.unep.fr/scp/marrakech/taskforces/lifestyles.htm>. Consultada el 23 de octubre del 2014.
- UNFCCC (2006). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático: Manual. Redactores: Daniel Blobel y Nils Meyer-Ohlendorf. ISBN: 92-9219-049-0.
- UNFCCC, (2006a). Technologies for adaptation to climate change. Editor: Peter Stalker. ISBN: 92-9219-029-6.
- Valor, E., V. Caselles, C. Coll, F. Sánchez, E. Rubio y F. Sospedra (2000). Análisis comparativo del efecto de isla térmica de la ciudad de Valencia con imágenes TM, MUST, y HVHRR. Revista de teledetección, No. 14, Diciembre 2000.
- Villanueva Solis Jorge, Francisco Raúl Venegas Cardoso, Rafael García-Cueto (2008). Remote Sensing and Spatial Analysis of the Urban Heat Island: Evaluation and Mitigation Measures in Cities with Extreme Arid Climates. Climate Change and Urban Design – The Third Annual Congress of the Council for European Urbanism. (pág. 180-190). Oslo, Norway.
- Villanueva-Solis, J., Arturo Ranfla, Ana L. Quintanilla-Montoya, (2013). Isla de Calor Urbana: Modelación Dinámica y Evaluación de medidas de Mitigación en Ciudades de Clima árido Extremo. Información Tecnológica. Vol. 24(1), 15-24 DOI:10.4067/S0718-07642013000100003
- Voogt, J.A. y Oke, T.R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. Remote Sensing of Environment 86, Pág. 370–384 doi:10.1016/S0034-4257(03)00079-8
- Voogt, James A. (2008). Islas de Calor en Zonas Urbanas: Ciudades Más Calientes. Disponible en: <http://www.actionbioscience.org/esp/ambiente/voogt.html>
- Walter, Bob, L. Arkin, R. Crenshaw, eds. (1992). Sustainable cities: concepts and strategies for eco-city development. Los Angeles, CA, EHM Eco-Home Media. Pag. (62-69).
- World Bank (2007). World Development Report 2008. World Bank, Washington D.C.
- Yamamoto Yoshika (2006). Measures to Mitigate Urban Heat Islands. Science and Technology Trends, Quarterly Review, No. 18 Pág. 65-83 ISSN 1349-3671
- Yang J, Wang Z, and Kaloush KE. (2013). Unintended consequences: A research synthesis examining the use of reflective pavements to mitigate the urban heat island effect (Revised April 2014). Arizona State University National Center of Excellence for SMART Innovations, Tempe.
- Yuan Chao y Liang Chen (2011). Mitigating urban heat island effects in high-density cities based on sky view factor and urban morphological understanding: a study of Hong Kong. Architectural Science Review, 54:4, 305-315, DOI: 10.1080/00038628.2011.613644
- Zehnder y Grossman-Clarke (2009). En: Steinebach, Gerhard; Guhathakurta Subhrajit y Hagen, Hans (Eds.) Pág. 93-108. Visualizing Sustainable Planning. ISBN 978-3-540-88202-2