



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL
POSGRADO EN GEOGRAFÍA
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA

**MODELO PROSPECTIVO DE CRECIMIENTO PERIURBANO PARA UNA
CIUDAD MEDIA. EL CASO DE MORELIA, MICH.**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:
SANDRA DEL SOCORRO LASSO DE LA VEGA REYEROS

TUTORES:
DR. JEAN FRANCOIS MAS CAUSSEL
DR. JOSÉ ANTONIO VIEYRA MEDRANO
CIGA-UNAM

MÉXICO, D. F. AGOSTO 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria

Mami... gracias por tu apoyo y paciencia, Papi...
gracias por tu confianza en mí,
Julie... gracias por ayudarme tanto y tanto.
Los quiero mucho... siempre
GRACIAS

Agradecimientos

A las instituciones que me alojaron:

El Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental de la U. N. A. M.

El CONACYT

El proyecto SEP-CONACYT 178816 ¿Puede la modelación espacial ayudarnos a entender los procesos de cambio de cobertura/uso del suelo y de degradación ambiental?

A las personas que de una u otra forma me apoyaron y creyeron en mi:

Dr. Jean Francois Mas Causel

Dr. Antonio Vieyra Medrano

Dr. Martin Pagelow y la Universidad Le Mirail de Toulouse

Dr. Adrián Ghilardi

Dra. Yadira Mireya Méndez Lemus

Dra. Erna Martha López Granados

Mtra. Alejandra Larrazábal de la Vía

Mtro. Ignacio Paniagua Ruiz

Dr. Luis Miguel Morales Manilla

Mtro. José Antonio Navarrete Pacheco

Mtro. Teodoro Carlón Allende

Dr. Juan Alfredo Hernández

Mtra. Gabriela Cuevas García

Mtra. Julieta Lasso de la Vega Reyerros

Ing. Mario Aguilar Martínez

Carlita, MaJo, Ale, Lore, Moni, Lidia, Lupita, José, Oswaldo, Rafa

Arq. José Luis Rodríguez García y Lic. Josué Chávez del I.M.D.U.M.

Ing. Salvador Abud Mirabent -Síndico Municipal-

Índice

Índice	V
Índice de Figuras	vii
Resumen	lx
Introducción	1
Capítulo 1. Contexto de la presente investigación	3
1.1 Planteamiento del Problema	3
1.2 Justificación	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo General	5
1.3.2 Objetivos Particulares	5
1.4 Hipótesis	5
Capítulo 2. Revisión conceptual e histórica: Periurbanización y Modelización	6
2.1 Periurbanización: Un proceso de expansión	6
2.2 Modelización: Un medio para entender procesos de cambio	19
Capítulo 3. Entorno Histórico-Conceptual de la Zona Metropolitana de Morelia	27
3.1 Antecedentes históricos de la ciudad	28
3.1.1 Crecimiento histórico	32
3.2 Zona de estudio	34
Capítulo 4. Desarrollo del Modelo	38
4.1 Metodología	38
4.1.1 Materiales	38
4.2 Construcción de la base de datos.	40
4.3 Modelización Espacial del Crecimiento Periurbano	43
4.3.1 Calibración	43
4.3.2 Elaboración de la matriz de cambio o de transición	44
4.3.3 Cálculo de rangos: Para la transformación de las variables continuas en discretas	44
4.3.4 Cálculo de los pesos de evidencia	45
4.3.5 Análisis de la correlación entre mapas	46
4.3.6 Cálculo y mapeo de probabilidades	46
4.3.7 Escenarios	47
4.3.8 Validación del modelo	48
Capítulo 5. Resultados, Discusión y Conclusiones	49
5.1 Resultados y Validación del Modelo	49
5.1.1 Interpretación Visual Interdependiente	49
5.1.2 Tendencias de Crecimiento	50
5.1.3 Calibración	52
5.1.3.1 Matriz de probabilidad de cambio	52

5.1.3.2 Variables explicativas	54
5.1.3.3 Pesos de evidencia	58
5.1.3.4 Análisis de la correlación entre mapas	61
5.1.3.5 Mapas de probabilidades	62
5.1.3.6 Escenarios	64
5.1.3.7 Validación del modelo	74
5.2 Discusión	76
5.3 Conclusiones	81
Bibliografía	83

Índice de Figuras

Índice de Figuras

1	Mapa de Localización del Estado de Michoacán	35
2	Mapa de Ubicación de la zona de Estudio dentro del Estado de Michoacán.	36
3	Mapa de la Zona de Estudio y Colindancias	36
4	Tabla de Datos Generales de la Zona de Estudio	37
5	Contornos de las áreas urbanas, delimitados por la interpretación visual	50
6	Gráfica del Área del Crecimiento Urbano Total (por tipo de polígono)	51
7	Tabla del Crecimiento Periurbano	51
8	Tabla del Crecimiento Poblacional	51
9	Gráfica de Comparación de Incrementos Porcentuales del Crecimiento: Área-Población	52
10	Matriz total del período	53
11	Matriz anual	53
12	Variables explicativas físicas	55
13	Variables explicativas de zonificación urbana	57
14	Mapa de Densidad de población. 1995.	58
15	Gráfica ejemplo de Pesos de Evidencia: Densidad de Población	59
16	Gráfica ejemplo de Pesos de Evidencia: Zonificación según el Programa de Desarrollo Urbano de Morelia de 1998	60
17	Gráfica ejemplo de Pesos de Evidencia: Pendientes.	60
18	Gráfica ejemplo de Pesos de Evidencia: Distancia a equipamiento e infraestructura.	61
19	Mapa de Probabilidad. Crecimiento Periurbano.	63
20	Mapa de Probabilidad. Crecimiento Urbano.	63
21	Mapa de Simulación "Escenario Tendencial" Año 2020.	64
22	Tabla de Crecimiento Periurbano "Escenario Tendencial"	65
23	Gráfica del Área de Crecimiento Urbano Total por tipo de polígono. "Escenario Tendencial"	65
24	Mapa de Probabilidad. Crecimiento Periurbano. "Escenario PDU 1998"	66
25	Mapa de Probabilidad. Crecimiento Urbano. "Escenario PDU 1998"	66
26	Mapa de Simulación "Escenario PDU 1998". Año 2020.	67
27	Tabla de Crecimiento Periurbano "Escenario PDU 1998"	67

28	Gráfica del Área de Crecimiento Urbano Total por tipo de polígono. "Escenario PDU 1998"	68
29	Mapa de Probabilidad. Crecimiento Periurbano. "Escenario Descentralización"	69
30	Mapa de Probabilidad. Crecimiento Urbano. "Escenario Descentralización"	69
31	Mapa de Simulación "Escenario Descentralización". Año 2020	70
32	Tabla de Crecimiento Periurbano "Escenario Descentralización"	70
33	Gráfica de Área de Crecimiento Urbano Total por tipo de polígono. "Escenario Descentralización"	71
34	Gráfica Comparativa de Escenarios del Crecimiento del Polígono Principal	72
35	Gráfica Comparativa de Escenarios del Crecimiento de los Polígonos Secundarios	73
36	Gráfica Comparativa de Escenarios del Crecimiento Total	73
37	Gráfica de Validación de Escenarios a 5 años	75
38	Gráfica de Validación de Escenarios a 10 años	76

Resumen

El mundo cambia constantemente, y una evidencia de este cambio se observa en el crecimiento urbano. Crecimiento que en el caso de las ciudades latinoamericanas se ha dado en forma rápida y en muchas ocasiones, desordenada, esto trae por consecuencia que frecuentemente la planeación se vea rebasada y por lo tanto la dotación de servicios y equipamiento urbanos.

Para analizar y comprender este crecimiento se desarrolló un modelo de crecimiento periurbano para la ciudad de Morelia y su Zona Metropolitana, el cual incluyó comprender los conceptos de periurbanización, modelización, ciudad media y zonas metropolitanas y finalmente desarrollar el modelo propiamente dicho, el cual incluye tres escenarios diferentes de crecimiento: el “Escenario Tendencial”, replica en la simulación los patrones observados con la calibración, al “Escenario PDU 1998” se le agregaron los datos de zonificación urbana del Programa de Desarrollo Urbano (PDU) 1998 y el escenario llamado “Descentralización” se produjo con información del crecimiento habitacional suscitado a raíz del programa de vivienda del año 2000.

MODELO PROSPECTIVO DE CRECIMIENTO PERIURBANO PARA UNA CIUDAD MEDIA. EL CASO DE MORELIA, MICH.

Introducción

El mundo cambia constantemente, y una evidencia de este cambio se observa en el crecimiento urbano. Crecimiento que en el caso de las ciudades latinoamericanas se ha dado en forma rápida y en muchas ocasiones, desordenada, esto trae por consecuencia que frecuentemente la planeación se vea rebasada y por lo tanto la dotación de servicios y equipamiento urbanos.

La ciudad media de Morelia y su zona metropolitana presentan ambas características, han crecido en forma acelerada y sin orden, razón por la cual se desarrolló un modelo de crecimiento periurbano, a través del cual se pretende analizar y comprender dicho crecimiento, tanto de la propia ciudad, como de las localidades circundantes dentro del mismo municipio y de aquellas pertenecientes a los municipios que la rodean. La visión con la que se pretende desarrollar dicho análisis es múltiple, ya que se plantea una perspectiva bajo variables físicas, pero también desde el enfoque de otro tipo de variables que lo influyen, tales como: sociales, económicas y políticas, mismas que comparten la responsabilidad de dicha expansión.

Cabe resaltar que la investigación es el desarrollo de un modelo de crecimiento periurbano para determinar las variables físicas, sociales y económicas que influyen en dicho crecimiento, no un documento social sobre periurbanización y sus causas.

La utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) facilitó este análisis y proveyó de información valiosa para visualizar el entorno urbano y periurbano de la zona metropolitana en cuestión.

El primer capítulo resume el contexto bajo el cual se plantea la investigación.

En el capítulo dos, se exponen los conceptos básicos de periurbanización y modelización, y sus marcos de referencia correspondientes.

En el capítulo tres se analiza el concepto de Zona Metropolitana, así como el crecimiento histórico que ésta ha experimentado.

Finalmente, en el cuarto capítulo, se analiza el desarrollo del modelo, las variables que lo influyen, la importancia del momento histórico en el cual se planteó, las tendencias y los patrones del crecimiento urbano y periurbano, así como tres escenarios que ofrecen opciones alternativas de crecimiento.

Estos escenarios se construyeron con base en un período de calibración que generó la información necesaria para replicar y proyectar a futuro: el “Escenario Tendencial”, replica en la simulación los patrones observados con la calibración, al “Escenario PDU 1998” se le agregaron los datos de zonificación urbana del Programa de Desarrollo Urbano (PDU) 1998 y el escenario llamado “Descentralización” se produjo con información del crecimiento habitacional suscitado a raíz del programa de vivienda del año 2000.

Bajo dichos escenarios se pone de manifiesto que es posible un contexto distinto a las tendencias marcadas actualmente por las situaciones a las que se enfrenta el crecimiento de la ciudad.

Capítulo 1. Contexto de la presente investigación

1.1 Planteamiento del Problema

Debido al crecimiento de la ciudad de Morelia, ésta ha rebasado sus límites municipales e invadido diversas localidades contiguas, formándose así una integración que incluye a la ciudad, propiamente dicha, y a otras localidades de los municipios de Tarímbaro, Charo y Álvaro Obregón.

La ciudad se ha extendido en forma desordenada, a pesar de los planes y programas de desarrollo urbano existentes, debido a cuatro razones básicas:

1. Por una parte, a que la población de escasos recursos se ve obligada a adquirir lotes económicos, aunque no tengan servicios -justamente porque son económicos-, en lugar de adquirir uno de más alto valor que ya cuente con la infraestructura necesaria para una mejor calidad de vida, provocando que de manera emergente se tengan que hacer llegar servicios y equipamiento urbanos hasta zonas marginales que no estaban originalmente contempladas en el correspondiente plan o programa de desarrollo urbano, de aquí el surgimiento de los asentamientos conocidos como “cinturones de miseria” localizados en zonas de transición;
2. Por otra parte, que a raíz de los programas de vivienda promovidos por los gobiernos federales, se requieren grandes extensiones de terreno para cubrir dicha demanda;
3. Además del sector de la población con alto poder adquisitivo, que está dispuesto a pagar el costo que implica obtener el terreno que desea en el lugar que lo desea;
4. Y finalmente, en México, el crecimiento urbano se da principalmente de manera horizontal, representado por viviendas unifamiliares, las cuales utilizan porciones de terreno que podrían ser aprovechadas de manera

diferente, en edificios que en lugar de albergar una sola familia, pudieran alojar departamentos que incrementaran la densidad y abatieran los costos de dotar a grandes extensiones de bienes, servicios y equipamiento.

En ninguno de los tres primeros casos, existe el respeto hacia los programas municipales, por los intereses particulares de cada grupo social.

De las situaciones anteriores, surge el interés por realizar un análisis, que apoyado en el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), permita el desarrollo de un modelo prospectivo de crecimiento periurbano, para contribuir con una herramienta para la utilización y mejoramiento de los espacios, hasta ahora desaprovechados o mal utilizados y que están fuera de toda planeación.

1.2 Justificación

Los Sistemas de Información Geográfica y la Percepción Remota permiten monitorear y analizar los patrones de cambio, por otro lado la modelización espacial permite elaborar mapas prospectivos que favorezcan la evaluación de las posibles evoluciones de la ciudad. Por lo tanto, el propósito de este trabajo de investigación es emplear las herramientas de análisis de información geográfica, que posibiliten crear escenarios de crecimiento urbano, con la intención de facilitar la toma de decisiones para el mejor aprovechamiento del territorio, tanto al interior del municipio de Morelia, como de los municipios circundantes.

Lo anterior requerirá realizar primero un estudio retrospectivo, que incluya ortofotos e imágenes de satélite de la ciudad, de los años 1995, 2000 y 2005, para obtener información que permita generar un mapa prospectivo al año 2010, que se pueda comparar con el mapa real del mismo año, validar el modelo, y a partir de éste prospectar diferentes escenarios urbanos para el año 2020.

La relevancia de este trabajo radica en que se puede organizar el desarrollo urbano tomando como base la información generada por el modelo, en aspectos

tan importantes como el crecimiento desordenado y acelerado, la planificación territorial y el impacto ecológico.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Construir escenarios alternativos de crecimiento a partir del desarrollo de un modelo prospectivo de crecimiento periurbano para la ciudad de Morelia, Michoacán y su Zona Metropolitana.

1.3.2 Objetivos Particulares

- Evaluar los patrones de crecimiento de la ciudad de Morelia y su Zona Metropolitana en el período 1995-2010.
- Desarrollar un modelo prospectivo de crecimiento periurbano para la ciudad de Morelia y su zona metropolitana.
- Validar el modelo a través de comparar un mapa simulado al año 2010 contra un mapa “real” a partir de imágenes del 2010.
- Construir escenarios alternativos al tendencial para evaluar mejores opciones de crecimiento.

1.4 Hipótesis

El desarrollo de un modelo prospectivo de crecimiento periurbano para la ciudad de Morelia y su zona metropolitana, brinda una herramienta que contribuye a evaluar el crecimiento urbano bajo diferentes escenarios y posibilita mayores elementos para determinar un crecimiento más ordenado.

Capítulo 2. Revisión conceptual e histórica: Periurbanización y Modelización

Con la finalidad de obtener un conocimiento más claro de los estudios que se han realizado sobre periurbanización y modelización, se incluye a continuación un análisis sobre los mismos.

2.1 Periurbanización: Un proceso de expansión

“En el mundo en desarrollo, el crecimiento de las ciudades es dinámico, diversificado y desordenado, y, de forma creciente, utiliza el espacio con alta densidad. Este proceso de crecimiento urbano, en especial en zonas de transición no contiguas entre el campo y la ciudad, se denomina comúnmente *periurbanización*” (UNFPA, 2007, pág. 48).

La periurbanización está estimulada, en parte, por la especulación del suelo, que a su vez se nutre de las perspectivas de rápido crecimiento urbano. Hay especuladores que retienen suelo dentro de la ciudad y en torno a ella, a la espera de que aumenten los precios. No se molestan en alquilar, especialmente si temen que los inquilinos puedan ganar algún derecho a permanecer en el lugar que ocupan, o que se legisle un control de los alquileres. En consecuencia, quienes necesitan suelo con fines residenciales o productivos, deben encontrarlo en las zonas más alejadas del centro de la ciudad (UNFPA, 2007).

Las variaciones en la estructura y la localización de la actividad económica contribuyen en gran medida al crecimiento periurbano. La mejora de las redes de comunicaciones y transportes aumenta la accesibilidad de las zonas periféricas. La globalización impulsa las economías de escala en materia de producción y distribución y esto, a su vez, fomenta las instalaciones de gran magnitud en grandes superficies periurbanas (UNFPA, 2007).

A menudo, esta desconcentración con descentralización de la producción ocurre en los alrededores de las ciudades más dinámicas, donde la expansión de los lugares de trabajo y la creciente fuerza laboral ya no encuentran espacio en los centros de las ciudades, de modo que el desborde es inevitable. A su vez, la periferia ofrece una infraestructura más barata, suelo y mano de obra a menor costo, y esto estimula una mayor periurbanización (UNFPA, 2007).

“Dado que, en general, las zonas periurbanas son periféricas respecto de los límites administrativos de las ciudades centrales, la capacidad de las autoridades gubernamentales para regular la ocupación suele ser particularmente débil. En consecuencia, el proceso de urbanización puede ser, en gran medida, no planificado, no estructurado e ilegal, con frecuentes luchas respecto del uso del suelo” (UNFPA, 2007, pág. 49).

Delgado (2003), parafraseando a Ávila (2001), considera que el motor de la periurbanización hay que buscarlo en la expansión de las metrópolis, de por sí demasiado grandes; en la migración rural; en la crisis económica del campo y en la falta de recursos de los sectores más pobres que no pueden pagar los costos de vivir en la ciudad y que se alojan entonces en espacios periurbanos cada vez más alejados de la misma (Delgado, 2003).

Sobre el mismo tema, Dubois-Taine y Chalas (1997) hablan sobre el caso europeo, que es diferente al latinoamericano, y dicen que la periurbanización es el proceso generado por la difusión urbana y la transformación espacial del medio rural; lo que produce un espacio caracterizado por su discontinuidad física. La periurbanización es también un modo de habitar la ciudad discontinua o *ciudad emergente* (Banzo, 2005), un modo de vida elegido (en elección libre o fuertemente condicionada) por una parte muy importante de la población, tanto en los países desarrollados como en los de menor desarrollo y agrega que los conceptos de *periurbano* (de origen francés) o de *urban fringe* (inglés) nacen de la necesidad de nombrar un espacio que corresponde a una forma de organización

espacial. Situado alrededor de las ciudades, se caracteriza por su discontinuidad y su forma híbrida entre urbano y rural. El término de *urban fringe* asume de antemano que este espacio es urbano (franja urbana), mientras la noción de periurbano se refiere a la situación (alrededor de la ciudad) sin precisar la naturaleza dominante del espacio. Finaliza comentando que desde su aparición, a mediados de los años setenta en Francia, el concepto de periurbano ha evolucionado (Banzo, 2005).

Ávila (2009), refiere como periurbano aquello que se refiere a la extensión continua de la ciudad y la absorción paulatina de los espacios rurales que la rodean. Gracias a este concepto es que se han podido enlazar el término rural con el urbano, pues esta relación se forma a partir de la desaparición del espacio rural tradicional, debido principalmente al crecimiento de las ciudades y al proceso de mutación del campo colindante con las mismas (Banzo, 2005). Estas comunidades rurales cuentan con una estructura urbana sencilla y con equipamiento, servicios e infraestructura, pero su población es pequeña, o sea, menos de tres mil habitantes y donde la actividad económica más importante sigue siendo la agricultura (Bazant, 2001).

Dice Ávila (2001) que periurbanización es el paso de una sociedad industrial a otra posindustrial, conceptualizado primero como contraurbanización y más recientemente bajo el término de urbanización difusa. Sin embargo, este “retorno al campo” contrasta notablemente con la periurbanización latinoamericana, en donde es difícil postular la vigencia plena de una fase propiamente posindustrial (Ávila, 2001).

Por otra parte Larrazábal *et al.* (2014), definen el concepto de “periurbano” como una zona de transición entre lo rural y lo urbano, que se convierte en una competencia e interacción crítica entre subsistemas sociales y ambientales con procesos muy dinámicos y puntos críticos para acciones de adaptación y mitigación que buscan la sustentabilidad. Sostienen que el entendimiento de la interacción de las ciudades con el entorno circundante (*i.e.* periurbano y rural) puede lograrse a través de una aproximación sistemática de la dinámica de

movimiento, cambio o “flujo” de recursos naturales en el espacio urbano con la finalidad de sostener las actividades que en ellas se desarrollan (Larrazábal *et al.*, 2014).

Para Cadène (1990) y Prost (1991) desde la perspectiva europea, el inicio del movimiento de la difusión urbana discontinua alrededor de las ciudades (años 1970-1975 en Francia), consideraba al espacio periurbano como una zona de contacto entre dos mundos tradicionalmente opuestos: el rural y el urbano. Ciertos estudios consideraron al periurbano como una nueva forma de lo rural, otros como una nueva forma de crecimiento urbano. Pero pronto se debilitó la perspectiva ruralista, frente a la generalización de la idea de que el proceso está íntimamente relacionado con la dinámica urbana (Banzo, 2005). Sin embargo, el espacio periurbano ha puesto en contacto dos mundos con objetivos y valores distintos: una población rural generalmente ligada a la función agrícola y una población urbana que sigue trabajando en la ciudad. Algunos estudios han puesto en evidencia la naturaleza conflictiva de este contacto. Para Prost (1991), los conflictos resultan de la diferencia entre el objetivo de producción de construcciones de la ciudad y el objetivo agrícola del campo, mientras que Cadène (1997) plantea que los conflictos oponen no solamente a los actores rurales y urbanos, sino también a los actores rurales entre ellos (desacuerdos a propósito de la llegada de los nuevos residentes urbanos). Finaliza concluyendo que la naturaleza conflictiva del espacio periurbano no se limita a la dualidad campo-ciudad, sino que se extiende a la gran diversidad de usos del suelo que lo caracterizan (Banzo, 2005).

Bazant (2001), comenta que este crecimiento se da en forma natural, debido a que las familias buscan espacios donde asentar sus viviendas, y en el momento en que, de forma gradual, los lotes más cercanos al centro de las comunidades rurales, son ocupados, buscan las periferias, aún y cuando no haya suficientes servicios y equipamiento. La relación con las manchas urbanas metropolitanas se estrecha, a partir de la búsqueda de ambos grupos por mejorar su calidad y nivel de vida, gracias a que las familias necesitan mejores espacios para vivir, pero

también una independencia laboral, social y acceso a mejores servicios, lo que genera una cercana relación funcional, aun cuando la distancia física no les permita integrarse del todo (Bazant, 2001).

Hablando sobre la forma en la que las ciudades crecen, Borsdorf (2003) estudia el crecimiento urbano de la ciudad latinoamericana, y divide este crecimiento en cuatro grandes fases de urbanización: la época colonial, la urbanización influida por la inmigración europea (y que se sitúa entre 1820 y 1920), la urbanización marcada por el éxodo rural y la migración interna (entre 1920 y 1970) y la ciudad contemporánea (de 1970 a la fecha) a la cual llama la ciudad fragmentada (Borsdorf, 2003).

Agrega que, para la ciudad fragmentada, solo dos principios estructurales del pasado continúan vigentes: la tendencia sectorial-lineal y el crecimiento celular, pero en una forma marcadamente diferente a las fases anteriores de desarrollo. La construcción de nuevas autopistas modernizadas y ampliadas con capital privado facilitó la aceleración del tránsito, y las zonas periféricas y periurbanas volvieron a ser atractivas para las clases medias y altas (Meyer y Bähr, 2001). Por una parte, la extensión de las autopistas acentuó las estructuras lineales, y por otra, constituyó un antecedente para la formación de estructuras de nodos fragmentados que hoy son las más notables en el perímetro urbano (Borsdorf, 2003).

Además menciona que también el segundo principio de la antigua estructuración espacial está sujeto a las condiciones del desarrollo urbano (post) moderno. Elementos celulares en la periferia, como barrios marginales y viviendas sociales, pueden ser observados en algunas ciudades, especialmente aquellas caracterizadas por un alto porcentaje de extrema pobreza. En otras ciudades, elementos urbanísticos de dimensiones imposibles de alcanzar en el pasado se encuentran en proceso de realización (Borsdorf, 2003).

Finalmente considera que las modificaciones de los elementos lineales y celulares descritos pueden ser interpretadas como formas especiales del principio de

estructuración espacial que caracteriza la dinámica urbana actual, y que transforma la estructura de las ciudades latinoamericanas de una forma muy significativa. Se puede denominar a este principio como fragmentación, una nueva forma de separación de funciones y elementos socio-espaciales, ya no -como antes- en una dimensión grande (ciudad rica-ciudad pobre, zona habitacional-zona industrial), sino en una dimensión pequeña (Borsdorf, 2003).

Resulta interesante la tipología de los espacios periurbanos de países desarrollados que presenta Ávila (2001), que se refiere más al ámbito urbano que al rural. Según este autor, son cuatro los tipos dominantes:

- El periurbano residencial espontáneo, de los años 1920-1930, con base en las ideas de ciudad-jardín que dieron origen al moderno suburbio, como mezcla de actividades habitacionales y comerciales en áreas fundamentalmente rurales;
- El desarrollo en comunidad de los años sesenta, asociación de edificios, tiendas, oficinas, hoteles y clubes deportivos que, en conjunto, forman una nueva ciudad alrededor de un gran centro comercial, como la ciudad de Columbia, entre Washington y Baltimore.
- Los polos o centros tecnológicos, propios de la industria informática, de alta tecnología y laboratorios universitarios vinculados a la industria, que siguieron al anterior modelo para instalar campus de investigación y desarrollo, en las zonas rurales periurbanas, en ocasiones en coexistencia con sociedades agrícolas tradicionales, como en Stanford y Palo Alto, cerca del Silicon Valley.
- Los complejos aeroportuarios, formados por un extenso conjunto de oficinas, hoteles y salas de conferencias construidos alrededor de un aeropuerto (Delgado, 2003).

Para Banzo (2005), la cuestión periurbana en Europa Occidental se puede visualizar desde los siguientes enfoques:

- El marco conceptual: el paso del “periurbano” a la “periurbanización”. Si durante años, los estudios sobre el espacio periurbano se dedicaron a entender y diferenciar las formas, hoy, en el contexto europeo, la perspectiva por profundizar, es la del conocimiento de la periurbanización, entendida como un proceso de transformación espacial, pero también como modo de vida de una parte cada vez mayor de la población europea.
- El manejo de la ciudad difusa: el reto de las políticas urbanas. La periurbanización crea nuevos modos de vida que retroalimentan el proceso. A pesar de los esfuerzos de las políticas territoriales para controlar este movimiento, una parte creciente de la población europea tiende a elegir ciudades de baja densidad en el campo, lejano a la ciudad, lo cual desarrolla una nueva cultura periurbana que es caracterizada por un retorno a lo natural, que no es lo mismo que el retorno a la vida del campo (Chalas, 2001). Uno de los problemas que plantea esta forma de vida, y la forma espacial que le corresponde, es el relativo a la gestión de la ciudad difusa.

Otra idea es la que ha reafirmado que el espacio periurbano es una nueva forma de crecimiento urbano (Prost, 2001). Los geógrafos se interesan particularmente en sus características morfológicas y funcionales (Ministère de l'Équipement, 1997). La preocupación por describirlo, se traduce en esfuerzos para nombrar y distinguir las diferentes franjas periféricas. En Francia, la manera de considerar la difusión urbana según un modelo centro-periferia sigue siendo muy fuerte. Se suelen diferenciar distintos círculos alrededor del núcleo urbano según la idea de que la densidad se reduce al alejarse del centro. Los suburbios (*banlieu*) constituyen el primer anillo (densidad fuerte y construcción continua); posteriormente el periurbano (construcción discontinua) y de inmediato se identifica el rural (densidad baja, paisaje rural poco modificado pero con una estructura en mutación por la influencia de la ciudad); al final se ubica lo rural (donde la influencia de las dinámicas espaciales no es tan directa, debido a las insuficientes conexiones con la ciudad) (Banzo, 2005).

Este esquema, orienta las reflexiones hacia los límites y el paso de un sistema morfológico a otro. Las construcciones teóricas han seguido básicamente la idea del movimiento de difusión periférica: en primer lugar los estudios se han interesado en la diferencia entre suburbio y periurbano, luego entre periurbano y urbano o rural (Banzo, 2005).

De tal forma que lo que hace al periurbano no sólo es la forma sino más aún, la manera de vivir de la población. Más que considerar el periurbano como una extensión de la ciudad, se trata de concebirlo como un proyecto de espacio centrado en la habitación, el automóvil, la familia y el patrimonio (Pinson y Thomann, 2001). Si existe una especificidad del espacio, se puede definir en términos de dinámica (espacio en constante recomposición) y de innovación social -nuevas formas de trabajo, de intercambios, de sociabilidades- (Cadène 1997, Valette, 2003).

Por otra parte está el enfoque sobre ciudades medias, las cuales son las más en la mayoría de los países latinoamericanos y a las cuales se asigna una función importante en la articulación territorial, como nodos de intercambio en las densas redes que conectan las áreas urbanas y rurales (Méndez, 2010).

Méndez (2010) agrega que son espacios dinámicos, en los que la intensidad de los procesos de difusión y deslocalización se traduce en intensos cambios de su base social y económica, su paisaje urbano y sus funciones. Esos cambios los convierten en espacios de la diversidad, en donde se yuxtaponen usos del suelo tradicionales, en rápido retroceso, con otros nuevos; residentes nacidos allí con una amplia mayoría de ciudadanos procedentes de las áreas centrales de la aglomeración, de otras regiones y, a menudo, otros países; actividades que han permanecido, junto con una mayoría de nuevas empresas instaladas en función de estrategias ajenas al propio lugar y que no favorecen su anclaje a ese territorio. Todo lo anterior les otorga también la característica de ser espacios de contrastes, en donde aspectos como la accesibilidad a la ciudad central, la calidad

infraestructural y ambiental, se traducen en la localización de funciones y grupos sociales de características contrapuestas según sectores de sus periferias, que se muestran así como espacios fragmentados y la propia yuxtaposición de entidades administrativas -a menudo poco o nada coordinadas entre sí- no hace sino acentuar esa desarticulación. Resultan, por último, espacios de conflicto –al menos potencial- en donde la contraposición de intereses, la competencia por el suelo y la presión a que se ven sometidos sus gobiernos locales para gestionar las múltiples demandas internas y externas, hace frecuente la aparición de problemas de índole urbanística, ambiental o social, que son el contrapunto a su dinamismo y permiten asociarlos, a menudo, a espacios vulnerables (Méndez, 2010).

Adicionalmente Aguilar y Escamilla (2011) consideran que un rasgo característico de las grandes zonas metropolitanas es la acelerada transformación de sus espacios periféricos. Que en varios casos las transformaciones han sido dramáticas; por un lado, a través de la construcción de grandes obras de infraestructura como aeropuertos o redes carreteras; por otro, por medio del surgimiento de desarrollos residenciales tanto para clases de alto nivel socioeconómico como unidades habitacionales de interés social de gran extensión para sectores de clases media y media baja, pero también desarrollos comerciales y corporativos (Aguilar y Escamilla, 2011).

Agregan que los espacios periurbanos en México, son áreas críticas en términos de transformación del uso del suelo, cambios socioeconómicos y ambientales. Si algo caracteriza a estos espacios es la fuerte presión a la que están sujetos para su comercialización por la fuerte demanda de diversos actores sociales, no sólo del sector público sino también del sector privado y de los grupos más pobres de la ciudad. Pero además, estos espacios son zonas en transición muy lejanas de la tradicional dicotomía urbano-rural; representan un sistema ecológico y socioeconómico muy específico, cuya definición debe de analizarse como un gradiente, una gran franja en transición, junto a las interacciones entre las dos realidades: la urbana y la rural (Aguilar y Escamilla, 2011).

El proceso de periurbanización está mostrando que las políticas urbanas tienden a favorecer un modelo urbano disperso, donde se apoya la expansión periférica o que no se restringe; (Aguilar y Escamilla, 2011).

De hecho esta forma de expansión, consolida un patrón urbano difuso que no garantiza el acceso al suelo a los sectores de más bajos recursos de los centros urbanos, de tal forma que se nota un proceso de fragmentación del espacio, en el cual, por ejemplo, surgen zonas heterogéneas, algunas de las cuales tienden a aislarse entre ellas, como es el caso de los fraccionamientos cerrados; así mismo, surgen manchones urbanos de diferente naturaleza, entre los cuales no existen interacciones ni algún tipo de cohesión social. Adicionalmente, estos desarrollos periféricos son la causa de una distancia cada vez mayor entre el lugar de residencia y el lugar de trabajo, y por lo tanto, de la saturación del transporte público, de la dependencia del transporte individual e indirectamente de mayores emisiones contaminantes. Pero estas mayores distancias entre todas las esferas de la vida diaria de la población: trabajo, vivienda, escuelas, compras, actividad deportiva, recreación, etc., responden a todo un nuevo estilo de vida y de consumo urbano (Aguilar y Escamilla, 2011).

Las posturas sobre la periurbanización no sólo se refieren a cómo regular la expansión urbana en las orillas de las ciudades, sino sobre todo a cómo proporcionar espacios sustentables, socialmente aceptables y con una buena administración, en ciudades con densidades más altas. En esta discusión es necesario tener una visión de ciudad-región donde se pueda avanzar a una mejor coordinación horizontal y vertical en las acciones de política, con escenarios deseables para cada realidad metropolitana (Aguilar y Escamilla, 2011).

A pesar de que la escala es diferente, pues Méndez (2010) habla de ciudades medias y Aguilar y Escamilla (2011) estudian grandes metrópolis, pareciera que a grandes rasgos, la dinámica es muy similar, pues las grandes inversiones en obras de infraestructura como carreteras y aeropuertos, las zonas residenciales para personas de clases bajas, medias o altas, los cambios de uso de suelo y los retos por proporcionar espacios sustentables son semejantes en ambos casos.

“Uno de los aspectos más importantes del desarrollo de las grandes ciudades latinoamericanas en los últimos años, ha sido la acelerada urbanización de sus periferias metropolitanas. Los aspectos centrales de este proceso son la velocidad y el tipo de transformación que han experimentado las periferias de las grandes metrópolis. En términos comparativos, estos espacios periféricos han mostrado una mayor velocidad de transformación que otras áreas de la ciudad, como es el caso de las zonas centrales, las cuales incluso, han perdido población. Así mismo, las transformaciones que han tenido lugar realmente han sido dramáticas; grandes obras de infraestructura, como es el caso de los aeropuertos, redes carreteras, urbanizaciones masivas formales e informales, pérdida de grandes extensiones de suelo agrícola y otros recursos naturales, o surgimiento de complejos industriales y centros corporativos” (Aguilar , 2006, pp. 5-6) .

“Parece que muchos de los actores urbanos tienden a favorecer el modelo de expansión periférica; las clases altas tienden a salirse del centro hacia desarrollos residenciales periféricos; los constructores desarrollan vivienda de todos los niveles en las franjas rural-urbanas; los grupos de bajos ingresos invaden terrenos en la periferia; los grandes centros comerciales y corporativos prefieren buscar terrenos más grandes y baratos en la periferia para sus nuevos desarrollos. Desde esta perspectiva, los desarrollos más extensos tienden a mostrar localizaciones periféricas” (Aguilar , 2006, pp. 5-6).

Franco-Sánchez (2012) apunta que en América Latina desde los años ochenta, la investigación sobre las tendencias de la urbanización es de gran importancia, las grandes aglomeraciones metropolitanas originadas por la expansión urbana y funcional de las ciudades tradicionales más allá de sus términos administrativos, inició un proceso de desconcentración de funciones urbanas y de población a través del territorio, como consecuencia de las rápidas y profundas transformaciones asociadas al proceso de globalización, donde la apertura e integración de mercados, el desarrollo de las telecomunicaciones y, en general, los avances tecnológicos, facilitaron el surgimiento de modelos urbanos con características más dispersas. Agrega que a partir de los años ochenta se empezó

a reportar la desconcentración de funciones urbanas y de población de las grandes ciudades al mismo tiempo que disminuyó el crecimiento de las grandes zonas metropolitanas, las ciudades intermedias han ido experimentando un crecimiento importante, convirtiéndose en el destino de las migraciones que cada vez son más marcadas (Franco-Sánchez, 2012).

En México esto no ha sido diferente, pues en la década de los setenta comenzó el agotamiento del patrón de concentración territorial, comenzando a reducirse la importancia de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, destacándose el alto crecimiento que experimentaron las ciudades entre 100 mil y 900 mil habitantes, las cuales para 1990 ascendían a 54, se produjo un crecimiento rápido de las ciudades entre los 500 mil y el millón de habitantes, las cuales entre 1980 y 1990 absorbieron el 42% del aumento de la población urbana, valor muy alto sobre todo si se considera que el 26% correspondió a las ciudades con más de un millón de habitantes. Además la apertura comercial, y la reconversión productiva re-localizaron importantes ramas fuera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (Franco-Sánchez, 2012).

De tal forma, en las últimas décadas tanto en México como en otros países del continente, los sectores populares urbanos no han quedado satisfechos en sus demandas de vivienda, aún y cuando existan grandes corporaciones inmobiliarias y programas públicos de vivienda, lo que ha ocasionado que las masas busquen un espacio donde vivir en las zonas periféricas de las ciudades, ya sea por la compra de un lote o por la invasión del mismo. A este fenómeno los investigadores urbanos le han llamado urbanización popular, y que en México específicamente se les llama “colonias populares”. Estas colonias en muchos de los casos son irregulares debido a que están localizadas en lugares poco aptos para su urbanización, además de que hay leyes que impiden la creación de asentamientos en estas zonas, puesto que no hay trazos para la vialidad, hay ausencia de servicios y dificultades para desarrollarlos (Conolly, 1989).

Se puede observar que, a grandes rasgos, hay dos conceptos de periurbanización principalmente diferenciados por la forma de la misma. Por un lado, lo que se entiende como suburbios, que es la tendencia de la población de clase media alta y alta, a buscar un hábitat diferente, más relajado y menos ruidoso, alejado de los grandes centros urbanos y que se insertan en las zonas rurales aledañas; y por otro, la búsqueda de las grandes masas, de los espacios para vivir, que las zonas céntricas de las ciudades ya no proporcionan. Espacios que pueden ser previamente urbanizados, o no, siendo estos últimos muchas veces, ilegales o irregulares.

Por lo expuesto anteriormente sobre la diversidad y complejidad del crecimiento periurbano, la presente investigación reconoce la importancia de modelar dicho proceso a través del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), para intentar entender la forma en que se establecen dichos cambios en una ciudad de tipo medio.

2.2 Modelización: Un medio para entender procesos de cambio

El otro tema a desarrollar en la presente investigación, es el relacionado con la modelización, pues su uso para la generación de escenarios prospectivos de cambios de uso del suelo, ya sea en el contexto de la planificación urbana y territorial, representa una oportunidad para anticipar, prevenir y mitigar dinámicas de las actuales formas de crecimiento urbano.

Es por esto que se toma como base su conceptualización a partir de la aportación de la Real Academia de la Lengua Española para continuar con los argumentos de Maguire, Batty y Goodchild (2005) y terminar con Henríquez y Azócar (2007).

La Real Academia de la Lengua Española define la palabra como la representación en pequeño de alguna cosa, y como un esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja, como la evolución económica de un país, que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento (RAE, 2011).

Otro concepto es el que afirma que un modelo es una representación de un componente o proceso de la realidad. Existen modelos estáticos, donde los datos de entrada y salida corresponden a un mismo instante en el tiempo, y modelos dinámicos donde la salida corresponde a un tiempo distinto del dato de entrada (Maguire *et al.*, 2005).

Los modelos estáticos pueden combinar varias entradas para obtener un resultado relevante. Por ejemplo, el modelo de escorrentía superficial del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de Estados Unidos integra coberturas de usos de suelo, tipos de suelo según drenaje y monto de precipitación de tormenta en un momento determinado, y arroja como resultado el monto teórico de precipitación que escurre en superficie (Henríquez & Azócar, 2007).

Subsecuentemente, los modelos dinámicos representan procesos, como por ejemplo cambios en los usos de suelo en una determinada porción del territorio, y pasos de tiempo intermedio (Henriquez y Azócar, 2007).

El hombre está continuamente modificando la superficie de la tierra a través de la construcción, la agricultura, producción de energía y otras actividades. Se pueden describir los cambios, tanto, en la forma de uso del terreno (uso de suelo), como en su cubierta: vegetación, suelo desnudo, edificios y otros materiales que cubren la superficie de la tierra; así, el cambio a futuro del terreno, se puede proyectar usando modelización de cambio de cobertura/uso de suelo. Estos modelos son medios clave para entender como los seres humanos han transformado la superficie de la tierra, y lo siguen haciendo, para proyectar las condiciones futuras del paisaje y para desarrollar políticas para el manejo de los recursos y del ambiente a diferentes escalas, desde una parcela individual de terreno en determinada ciudad hasta vastas extensiones de bosques alrededor del mundo (National Research Council of the National Academies, 2013).

Además, el National Research Council of the National Academies (2013), menciona los siguientes enfoques del modelado de cambio:

“Se han desarrollado una amplia variedad de modelos para examinar los procesos de cambio de cobertura y uso de suelo, así como para su proyección. Estos modelos están agrupados en seis categorías:

1. Enfoque de Aprendizaje Automático por Computadora y Estadístico: Emplea observaciones de cobertura de suelo o del cambio de uso de suelo en el pasado, para calibrar relaciones paramétricas o no-paramétricas entre estos cambios y las variables, espaciales y temporales.
2. Enfoque Celular: Integra mapas de aptitud de uso/cobertura de suelo con efectos vecinales e información acerca de cantidades de cambios esperados para proyectar cambios a futuro.
3. Enfoque basado en el Sector Económico: Utiliza modelos estructurales de equilibrio parciales y generales para representar la oferta y la demanda de

tierra por sectores económicos en regiones basadas en actividades económicas y comercio.

4. Enfoque económico desgregado espacialmente: estima modelos econométricos estructurales o reducidos para identificar las relaciones causales que influyen en el equilibrio espacial en los sistemas de uso de suelo.
5. Enfoque basado en agentes: Simula las decisiones y acciones de los actores de cambio de uso de suelo que interactúan entre sí y la superficie de la tierra para hacer cambios en los sistemas de suelo.
6. Enfoque Híbrido: abarca aplicaciones que combinan enfoques diferentes en un sólo modelo o marco de modelización.

Los cinco primeros enfoques están ordenados aproximadamente del menor al mayor en relación con la profundidad con la cual toman en cuenta el proceso de cambio. Los enfoques que se basan en datos acerca de los patrones de cambio, incluidos el enfoque de aprendizaje automático por computadora y estadístico, así como el celular, tienen la tendencia a usar la información de cobertura de suelo de imágenes satelitales y relaciones basadas en los cambios observados en el pasado. Estos enfoques son muy útiles para proyectar los cambios observados en la cobertura hacia períodos cortos de tiempo en el futuro, pero frecuentemente tienen una habilidad limitada para evaluar condiciones no observadas en el pasado. Los enfoques mayormente basados en el proceso, como el basado en el sector económico, el económico desgregado espacialmente y el basado en agentes, hacen un enfoque más cercano a la información generada por las ciencias sociales acerca de los procesos de cambio. Estos últimos enfoques proveen una representación más realista de los procesos de cambio que se pueden usar para evaluar un rango más amplio de alternativas futuras, pero representan mayores desafíos para su calibración y validación y pueden proveer principalmente resultados con información cualitativa sobre posibles cambios en el futuro” (National Research Council of the National Academies, 2013, págs. 2-3).

“El enfoque ideal de modelización a utilizar depende de la aplicación. Las ventajas relativas de los enfoques para propósitos particulares se pueden utilizar en diferentes contextos de normativas para toma de decisiones, y estos enfoques tienden a servir para diferentes roles dentro del contexto del ciclo de la normativa de cuatro pasos: 1) Identificación del problema; 2) Diseño de intervención; 3) Decisión e implementación o, 4) Evaluación. Los enfoques de aprendizaje automático por computadora y estadístico, así como de modelización celular son más adecuados para la identificación de problemas, porque aunque les falta la riqueza del detalle estructural acerca de los procesos necesarios para evaluar los efectos de los cambios en las estructuras normativas, son sencillos de implementar y proveen valiosas descripciones y proyecciones de patrones y tendencias” (National Research Council of the National Academies, 2013, págs. 2-3).

Por otra parte, Henríquez y Azócar (2007) consideran que existen dos aproximaciones en el uso de modelos prospectivos de cambio de uso del suelo: (a) Regresión y (b) Transición espacial. Para el primer caso establecen relaciones entre un amplio rango de variables prospectivas y las probabilidades de cambio de uso del suelo. Mientras que para las transiciones espaciales, las técnicas estocásticas basadas en el método de cadenas de Markov y autómatas celulares asumen explícitamente que las áreas vecinas influyen en la probabilidad de transición del área o celda central (Henriquez y Azócar, 2007).

Desde la perspectiva de los trabajos que sobre modelización urbana se han realizado, se incluye la revisión que Barreira-González, *et al.*, (2012), llevaron a cabo:

“La utilidad de los instrumentos de simulación urbana resulta evidente: además de ayudar a comprender mejor los procesos de crecimiento urbano y sus factores motrices (Cheng y Masser, 2003; Verburg, *et al.*, 2004), los modelos de simulación urbana permiten reproducir dinámicas y procesos territoriales pasados (Paegelow y Camacho-Olmedo, 2008), así como simular posibles evoluciones de dichas

dinámicas y procesos en el futuro (Hansen, 2010; Santé *et al.*, 2010). Además nos permiten valorar cambios en los patrones de crecimiento de las ciudades y áreas metropolitanas (Berling-Wolf y Wu, 2004; Li *et al.*, 2008; Aguilera-Benavente *et al.*, 2011), y posibles afecciones de estos crecimientos sobre el paisaje y el territorio en el que tienen lugar (Forman, 1995; Aguilera-Benavente y Talavera-García, 2009; Mitsova *et al.*, 2011). La importancia de este proceso, así como la mayor magnitud de los cambios y su aceleración a lo largo del tiempo, han provocado una auténtica “nueva ola de simulación urbana” (Benenson y Torrens, 2004) que se ha traducido en el desarrollo de multitud de herramientas de simulación de este fenómeno (White *et al.*, 1997; López *et al.*, 2001; Gómez-Delgado y Barredo, 2005; Paegelow y Camacho-Olmedo, 2008; Aguilera-Benavente *et al.*, 2010; Plata-Rocha *et al.*, 2011).

Entre los múltiples instrumentos de simulación disponibles, las técnicas de evaluación multicriterio (Malczewski, 1999; Gómez-Delgado y Barredo, 2005; Plata-Rocha *et al.*, 2011), los modelos basados en agentes (Gilbert y Troitzsch, 2005) y los modelos basados en autómatas celulares (Itami, 1994; Batty y Xie, 1997; White *et al.*, 1997; Barredo *et al.* 2003; Aguilera-Benavente *et al.*, 2010; Santé *et al.*, 2010), destacan como los instrumentos más ampliamente utilizados. Sin embargo, las principales características de los procesos de expansión urbana como son la complejidad, la autosimilitud (Frankhauser, 1998; O’Sullivan y Torrens, 2000) y la capacidad de los autómatas celulares para reproducir comportamientos de este tipo (Torrens, 2000), han provocado que exista una importante proliferación de herramientas y estudios de simulación basada en este tipo de modelos (O’Sullivan y Torrens, 2000; Aguilera-Benavente *et al.*, 2010; Santé *et al.*, 2010). Los ámbitos de aplicación han sido además diversos, empleándose para la simulación de crecimientos en ámbitos urbanos en España (Aguilera-Benavente *et al.*, 2010; García *et al.*, 2011), Europa (White *et al.*, 1997; Barredo *et al.*, 2003; Petrov *et al.*, 2009), Estados Unidos (Berling-Wolf y Wu, 2004; Mitsova *et al.*, 2011), África (Barredo *et al.*, 2004) o Asia (Liu y Andersson, 2004; Li *et al.*, 2008)” (Barreira-González *et al.*, 2012).

Desde la perspectiva latinoamericana, caben destacar algunos trabajos realizados en México y Brasil como el de Soares-Filho (1998) quién es el principal desarrollador del programa DINAMICA EGO, paquete utilizado en el desarrollo de esta investigación; posteriormente López *et al.* (2001), realizan la primera investigación sobre crecimiento urbano de la ciudad de Morelia; consecutivamente Almeida (2005) modeliza crecimiento urbano; y Rosseti *et al.* (2013) que agregan al modelo de evaluación de cambio de uso de suelo, la utilización de la zonificación urbana a manera de variable explicativa. Aportaciones todas que conforman el antecedente para el desarrollo del modelo prospectivo de crecimiento periurbano para la ciudad de Morelia, Michoacán.

Profundizando en lo anterior, López *et al.* (2001), utilizaron cadenas de Markov (En la teoría de la probabilidad, se conoce como cadena de Markov a un tipo especial de proceso estocástico discreto en el que la probabilidad de que ocurra un evento depende del evento inmediatamente anterior) y análisis de regresión, así como fotografías aéreas rectificadas y sistemas de información geográfica (SIG) para explorar las relaciones entre el crecimiento urbano y el cambio de paisaje y entre el crecimiento urbano y el crecimiento poblacional para la ciudad de Morelia (López *et al.*, 2001); Almeida construyó las directrices metodológicas para la modelización de las transformaciones urbanas de uso del suelo usando Sistemas de Información Geográfica (SIG), imágenes de percepción remota y métodos probabilísticos Bayesianos. Las probabilidades obtenidas alimentaron un modelo de simulación basado en el autómatas celular –DINAMICA EGO– desarrollado por el Centro de Teledetección de la Universidad Federal de Minas Gerais (CSR-UFMG), Brasil. Adoptó como caso de estudio una ciudad tipo medio al oeste del estado de Sao Paulo, llamada Bauru. La estructura urbana se convirtió en una malla de 100 x 100 m. de resolución y las probabilidades de transición se calcularon para cada celda de la red por medio del método probabilístico de “pesos de evidencia” y sobre la base de la información relacionada en la infraestructura técnica y los aspectos socioeconómicos de la ciudad. Se generaron diferentes simulaciones para el caso de estudio para el período 1979-1988, y las pruebas estadísticas de validación se condujeron, para un mejor resultado,

empleando un procedimiento de ajuste de resolución múltiple (Almeida *et al.*, 2005).

Finalmente Rossetti *et al.* (2013), hacen una evaluación de cambio de uso de suelo para la ciudad de Río Claro, en Brasil, para el período de 1988 a 1995, utilizando también DINAMICA EGO, pero agregando como variables explicativas, variables económicas de zonificación urbana: zonas industriales, residenciales, comerciales, mixtas y áreas verdes (Rossetti *et al.*, 2013).

Para el presente estudio se eligió un enfoque derivado de observaciones pasadas, en el cual el desarrollo de escenarios es de suma importancia, pero esto implica cierta flexibilidad de procesos y de decisiones que no cualquier programa permite; por esto, se incluye el trabajo de Mas *et al.* (2014), quienes realizan un estudio comparativo entre cuatro paquetes de modelización, en el cual analizan los beneficios y limitaciones de éstos mediante la evaluación y la comparación de sus herramientas. Los paquetes revisados son:

CA_MARKOV en IDRISI, CLUE-S, DINAMICA EGO y Land Change Modeler (LCM), disponible en IDRISI y como extensión de ARC-GIS.

En la comparación encuentran que LCM se basa en los datos con métodos de calibración automáticos mientras que otros se basan más en conocimiento experto (CA_MARKOV). DINAMICA EGO permite escoger niveles intermedios entre ambos enfoques de calibración.

También determinan que en regiones con altas dinámicas de cambios de cobertura/uso del suelo, los enfoques de calibración basados en métodos capaces de producir funciones que se ajustan mucho a los datos de entrenamiento (redes neurales, algoritmos genéticos, pesos de evidencia sin edición) pueden resultar contraproducentes debido a las variaciones en los patrones de cambio durante el tiempo y en esos casos, es recomendable la integración de algún grado de conocimiento experto.

Además de que concluyen que la reproducción de los patrones del paisaje puede ser importante, por ejemplo, para evaluar el impacto de los cambios de cobertura/uso del suelo sobre la fragmentación de los paisajes y la conservación de la biodiversidad, en este caso, sólo DINAMICA EGO logró reproducir estos patrones, aunque en CA_MARKOV se podrían realizar operaciones adicionales para mejorar ese aspecto.

Finalmente, determinan que la posibilidad de desarrollar modelos que se adecuen a las necesidades del usuario y de acoplarlos con otros modelos (modelos económicos, emisión de carbono, conservación de especies, modelos hidrológicos...) y que LCM tiene módulos para evaluar aspectos de conservación. Sin embargo, su estructura rígida no permite salir del entorno ya establecido, y que, en este aspecto es DINAMICA EGO la que presenta más potencial por su flexibilidad y sus posibilidades de interacción con otras herramientas (Mas *et al.*, 2014).

Debido a la flexibilidad que tiene el programa DINAMICA EGO es que se decidió su utilización para el desarrollo del presente trabajo, agregando a esto que del trabajo de Rosseti *et al.* (2013) se aprovechará la idea del uso de las variables de zonificación urbana como variables explicativas.

Capítulo 3. Entorno histórico-conceptual de la Zona Metropolitana de Morelia

Se entiende como ciudad a una población cuyos habitantes se dedican principalmente a actividades no agrícolas (RAE, 2011); además la UNESCO (1999) especifica que una de las variables para definir ciudad media, suele ser el tamaño de su población. Los rangos varían según los contextos: en Europa por ejemplo, el rango se delimita entre 20,000 y 500,000 habitantes, en el contexto americano el rango suele situarse entre 200,000 y 500,000 habitantes, en Pakistán entre los 25,000 y los 100,000, en Argentina entre 50,000 y 1'000,000 de habitantes. Para tener una referencia numérica inicial se adopta un conjunto entre 20,000 y 2'000,000 de habitantes, con un rol territorial claro, y que no sean capitales nacionales configurando un área metropolitana grande en su región geográfica. (UNESCO, 1999). Para el caso específico de México, el rango considerado para definir una ciudad media va de los 100,000 hasta menos de un millón de habitantes (CONAPO, 2002).

El proceso de periurbanización que se observa en la ciudad media de Morelia (729,279 hab.) (INEGI, 2010), favorece que además sea considerada una de las zonas metropolitanas del país. Éstas se caracterizan principalmente por la concentración de población, actividades económicas y por gestiones político-administrativas fragmentadas (SEDESOL, CONAPO, INEGI, 2012) y se define como: el conjunto de dos o más municipios donde se localiza una ciudad de 50 mil o más habitantes, cuya área urbana, funciones y actividades, rebasan el límite del municipio que originalmente la contenía, incorporando como parte de sí misma o de su área de influencia directa a municipios vecinos, predominantemente urbanos, con los que mantiene un alto grado de integración socioeconómica. También se incluyen a aquellos municipios que por sus características particulares son relevantes para la planeación y política urbanas de las zonas metropolitanas en cuestión. También se considera como zona metropolitana a todos aquellos

municipios que contienen una ciudad de un millón o más habitantes (SEDESOL, CONAPO, INEGI, 2012).

Es importante notar que SEDESOL, CONAPO e INEGI (2012) consideran a la Zona Metropolitana de Morelia integrada por este municipio y los municipios de Charo y Tarímbaro únicamente. Para los fines prácticos de esta investigación, se adhirió también el municipio de Álvaro Obregón que espacialmente se encuentra unido a la misma zona.

3.1 Antecedentes históricos de la ciudad

En este subcapítulo se hablará sobre la historia de los asentamientos humanos en la ciudad y su crecimiento.

Sobre este tema, se retomarán las etapas históricas delimitadas por Vargas (2008) sobre el mencionado crecimiento de Morelia:

En el siglo VII de nuestra era, se desarrollaron asentamientos humanos en el valle de Guayangareo, vinculados con la cultura teotihuacana, encontrándose vestigios en la loma de Santa María y en las cercanías de la presa de Cointzio; posteriormente, alrededor del siglo XII llegaron los purépechas al actual municipio de Morelia, sin embargo no establecieron en el valle asentamientos importantes (H. Ayuntamiento de Morelia, 2013).

En el siglo XIV se establecieron los pirindas o matlatzincas, con el consentimiento de los gobernantes purépechas de Tzintzúntzan, como premio a su apoyo en la guerra que tuvieron aquellos para derrotar a los Tecos de Jalisco. Los pirindas establecieron el poblado de Guayangareo en la actual zona del parque Juárez (H. Ayuntamiento de Morelia, 2013).

- **La ciudad platónica y la fundación de Guayangareo en la “loma chata” (1541)**

La primera presencia española en el valle de Guayangareo fue en 1522. Se construyó el primer asentamiento español en la zona, así como también el primitivo colegio de San Miguel Guayangareo; de esta forma, en 1541, el virrey Don Antonio de Mendoza, expidió la provincia virreinal para la fundación de la nueva ciudad, y así, tomaron posesión del valle de Guayangareo y se llevó a cabo la fundación de la "Nueva Ciudad de Mechoacán", tratando de rivalizar en importancia con Tzintzúntzan (Primera Ciudad de Mechoacán -1536-) y Pátzcuaro (Segunda Ciudad de Mechoacán -1540-). Para evitar esta confusión, el rey Carlos I de España tomó la decisión de ordenar el cambio de nombre a la ciudad, por lo que mediante la cédula real del 6 de febrero de 1545 le concedió el título de ciudad de Valladolid, la cual recibió su escudo de armas en 1553 (morelia.com.mx, 2013).

- **Las “Ordenanzas de descubrimiento, nueva población y pacificación de las indias” (1573) y la Ciudad de Valladolid**

Las ordenanzas de Felipe II (1573) constituyen un documento de planificación urbanística excepcional, que continúa la trayectoria de los teóricos españoles anteriores, recoge la experiencia colonizadora anterior e introduce las teorías y tendencias europeas de la época en el Nuevo Mundo (Vargas, 2008).

Además del tratamiento de la ciudad, aborda la ordenación del territorio con la fijación de dimensiones de los lotes agrarios para los colonos, de las tierras de uso común y de la extensión de los términos de los pueblos, con lo que se define el poblamiento general rural mesoamericano (Vargas, 2008).

Valladolid no fue la excepción, y siguiendo las Ordenanzas, se diseñó la nueva ciudad y aunque Pátzcuaro era sede del obispado, gracias a la predilección que tenía el primer obispo de Michoacán, Don Vasco de Quiroga por la ciudad, y su rechazo a que la nueva urbe ostentara los poderes de la provincia, el 25 de diciembre de 1575 (10 años después de la muerte del primer obispo de la provincia) se dispuso, el traslado de la Justicia y Ayuntamiento de la Provincia de

Michoacán de Pátzcuaro a Valladolid. Cinco años después, se trasladó la sede del obispado y el Colegio de San Nicolás Obispo (1581), fundado tiempo atrás por Vasco de Quiroga (morelia.com.mx, 2013).

- **La continuidad del proyecto de traza urbana después de la independencia nacional en la rebautizada ciudad de Morelia (1828)**

El escenario urbano a principios del s. XVII estaba representado por una estructura ortogonal bien definida (la cual continuaba siguiendo la traza urbana dictada por las Ordenanzas de Felipe II), conformada por 59.64 hectáreas y 1000 habitantes, teniendo como límites naturales los principales ríos que bordeaban la ciudad. Esta extensión restringida se debió entre muchas causantes, al suministro de agua potable distribuida por el acueducto localizado al sur-oriente de la ciudad (Hernández, 2011).

El Congreso de Michoacán determinó cambiarle el nombre a la ciudad por Morelia el 12 de septiembre de 1828 para honrar a José María Morelos, oriundo de la ciudad. El municipio de Morelia fue establecido el 10 de diciembre de 1831 (morelia.com.mx, 2013).

Pero a partir de 1810 se inicia un periodo que inhibe el crecimiento demográfico y la urbanización de Valladolid, caracterizado por un gran número de conflictos internos entre los distintos bandos que luchan por el poder en la recién proclamada República Mexicana. Los estragos de las luchas se reflejan claramente en las cifras poblacionales; de tal manera que para 1811, en plena guerra de Independencia, la ciudad solo albergaba la raquítica cifra de 3,000 habitantes (Vargas, 2008).

- **El periodo de urbanización lenta con expansión territorial (1842-1876)**

Por lo que respecta a la expansión territorial de la ciudad, ésta se inicia a mediados del siglo XIX: para 1852 la ciudad cuenta con 30 calles y para 1883 estas sumaban 99, que daban cuerpo a 200 manzanas cortadas en su mayoría en ángulo recto. En ese año, la mancha urbana en forma de un paralelogramo, ocupaba un espacio de 5,000 metros cuadrados tomando como punto de referencia las cuatro garitas de acceso a la ciudad ubicados en los cuatro puntos cardinales (Vargas, 2008).

- **La continuidad del proyecto de traza urbana durante el porfiriato (1876-1910)**

Según Vargas (2008) para los años subsecuentes la urbanización continuó con una dinámica lenta que se extendió hasta principios del s. XX, donde los procesos más representativos fueron la llegada del ferrocarril, el movimiento revolucionario, los conflictos internos de poder y las crisis políticas (Vargas, 2008).

- **La urbanización acelerada (1940-1970)**

Para 1940 se presenta una moderada expansión urbana representada por 44,304 habitantes en nueve colonias urbanas, a las que se suman algunos barrios y pueblos. Algunas de ellas se propagaron hacia antiguas ciénegas y lagunas, manifestándose en una ligera expansión de la ciudad; la década de los '50 se distingue por el trazado de vías de comunicación fuera de los límites establecidos por los principales ríos, así como la demarcación de la ciudad hacia poblados antiguos (Hernández, 2011).

La década de 1960 representa un parte-aguas en la integración de la población rural contigua a la ciudad, lo que inicia la urbanización de diversas rancherías o poblados que comienzan a ser integrados al sistema de colonias urbanas (Hernández, 2011).

- **El surgimiento de la ciudad anular y el inicio del proceso de metropolización (1970-1994)**

A partir de los años sesenta la ciudad de Morelia empieza a experimentar un crecimiento nunca antes conocido, sobre todo a partir de la expansión urbana sobre tierras de tipo agrícola ejidales y, a partir de los años ochenta, sobre tierras de agostadero, de ciénegas, de bosques y de acuíferos, en el proceso llamado metropolización (Vargas, 2008).

En la década de los setenta se presentó un crecimiento exponencial de la población lo que favoreció que se incrementara la superficie urbana (Hernández, 2011). Se construyó el periférico, vialidad en forma de óvalo que rodea al núcleo de la ciudad. Esta importante vialidad fue ampliada a finales de la década de 1990.

- **Morelia ciudad radial en proceso de metropolización (1995-2009)**

En diciembre de 1991 la ciudad fue declarada por la UNESCO como "Patrimonio Cultural de la Humanidad". Diez años después (2001), se efectuaron diversas obras viales en la ciudad, como la construcción de dos puentes vehiculares al norte de la ciudad (2002) y uno más al poniente (2006), así como la ampliación y continuación de diversas avenidas, como Calzada la Huerta, Avenida Universidad, Francisco J. Múgica, buscando reducir los fuertes problemas viales que enfrentaba la ciudad (H. Ayuntamiento de Morelia, 2013).

3.1.1 Crecimiento Histórico

En 1894 la ciudad contaba con una superficie de 271 ha. En 1900 la población era de 37,278 habitantes, cifra que se incrementó en 1910 a 40,042 habitantes.

Durante el primer cuarto del siglo XX, se emprendieron obras de infraestructura urbana, que proporcionaron mejores servicios a la población para cubrir las necesidades y otras que contribuyeron a su embellecimiento (Paredes, 2001).

“A partir de 1930 se rompe el equilibrio demográfico que había mantenido la ciudad y sus servicios. El censo de aquel año arrojó 39,916 habitantes; a partir de 1950 surgen nuevas colonias y fraccionamientos de tipos popular y residencial, para satisfacer las necesidades de la población que era de 64,979 habitantes; a partir de 1960 la ciudad experimenta un crecimiento acelerado, ya que su población se duplica al pasar de 106,077 habitantes a 257,209 en 1980; el Censo de 1990 dio un monto de 428,486 habitantes con crecimiento muy superior al registrado en las décadas anteriores” (I.M.D.U.M., 2010, pág. 47).

El Instituto Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia (I.M.D.U.M., 2010) considera que el crecimiento de la ciudad ha sido anárquico, pues los nuevos fraccionamientos se han formado solamente en función de la disponibilidad de suelo a bajo costo, sin planear su equipamiento de comercios, escuelas, oficinas, templos y otros servicios. Informa que entre los años de 1980 y 2002 el área urbana creció de 1,898.60 ha a 10,919.00 ha, es decir, que incrementó su superficie 5 veces, sin embargo la población residente únicamente se incrementó en casi 3 veces al pasar de 257,209 hab. en el año 1980 a 647,878 hab. en el año 2002. (I.M.D.U.M., 2010)

Agrega que la expansión urbana de la ciudad se dio hasta la década de 1960 de manera concéntrica al centro histórico, y que es a partir de esa fecha que la ciudad inicia un fenómeno de expansión de manera desorganizada sin respetar la continuidad en la traza original. Entre los años 1990 y 2002 el crecimiento se orientó principalmente hacia la parte norte de la ciudad y al suroeste (I.M.D.U.M., 2010).

3.2 Zona de Estudio

La ciudad de Morelia se encuentra al oeste de la República Mexicana (Figura 1) entre los paralelos 19°52' y 19°26' de latitud norte; los meridianos 101°02' y 101°31' de longitud oeste; altitud entre 1 500 y 3 000 m. Colinda al norte con los municipios de Huaniqueo, Chucándiro, Copándaro y Tarímbaro; al este con los municipios de Tarímbaro, Charo, Tzitzio y Madero; al sur con los municipios de Madero, Acuitzio, Pátzcuaro y Huiramba; al oeste con los municipios de Huiramba, Lagunillas, Tzintzúntzan, Quiroga, Coeneo y Huaniqueo. Ocupa el 2.04% de la superficie del estado. Cuenta con 290 localidades y una población total de 729,279 habitantes (INEGI, 2010).

Los municipios que ha alcanzado el crecimiento periurbano de la ciudad de Morelia, son: Tarímbaro, Charo y Álvaro Obregón (Figuras 2, 3 y 4), los cuales tienen actualmente los siguientes datos generales:

Tarímbaro: Se encuentra entre los paralelos 19°44' y 19°54' de latitud norte; los meridianos 101°03' y 101°17' de longitud oeste; altitud entre 1 900 y 2 400 m. Colinda al norte con los municipios de Copándaro, Cuitzeo y Álvaro Obregón; al este con los municipios de Álvaro Obregón y Charo; al sur con los municipios de Charo y Morelia, al oeste con los municipios de Morelia y Copándaro. Ocupa el 0.44% de la superficie del estado. Cuenta con 100 localidades y una población total de 78,623 habitantes (INEGI, 2010).

Charo: Se encuentra entre los paralelos 19°32' y 19°48' de latitud norte; los meridianos 100°54' y 101°07' de longitud oeste; altitud entre 1 300 y 2 800 m. Colinda al norte con los municipios de Tarímbaro, Álvaro Obregón e Indaparapeo; al este con los municipios de Indaparapeo y Tzitzio; al sur con el municipio de Tzitzio y Morelia, al oeste con Morelia y el municipio de Tarímbaro. Ocupa el 0.55% de la superficie del estado. Cuenta con 76 localidades y una población total de 21,723 habitantes (INEGI, 2010).

Álvaro Obregón: Se encuentra entre los paralelos 19°47' y 19°59' de latitud norte; los meridianos 100°57' y 101°06' de longitud oeste; altitud entre 1 900 y 2 100 m. Colinda al norte con los municipios de Cuitzeo, Santa Ana Maya y el estado de Guanajuato; al este con el estado de Guanajuato y los municipios de Zinapécuaro e Indaparapeo; al sur con los municipios de Indaparapeo, Charo y Tarímbaro, al oeste con los municipios de Tarímbaro y Cuitzeo. Ocupa el 0.27% de la superficie del estado. Cuenta con 46 localidades y una población total de 20,913 habitantes (INEGI, 2010).

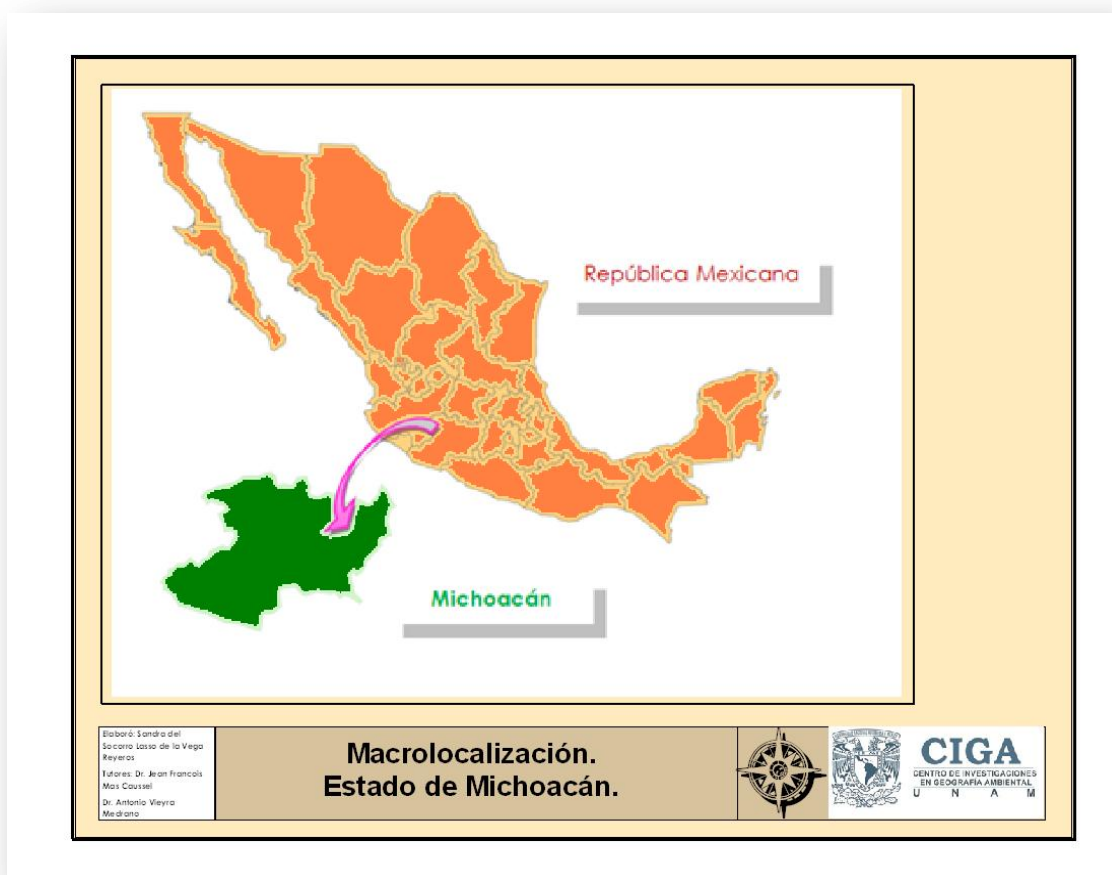


FIGURA 1: MAPA DE LOCALIZACIÓN DEL ESTADO DE MICHOACÁN
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

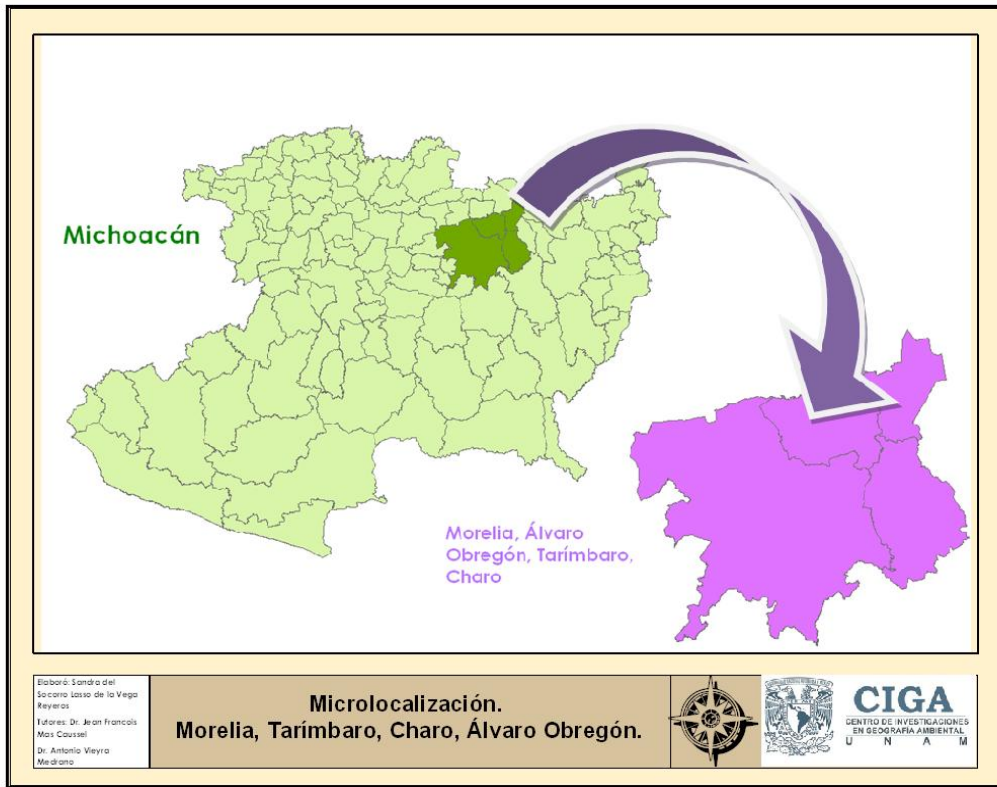


FIGURA 2: MAPA DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO DENTRO DEL ESTADO DE MICHOACÁN
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

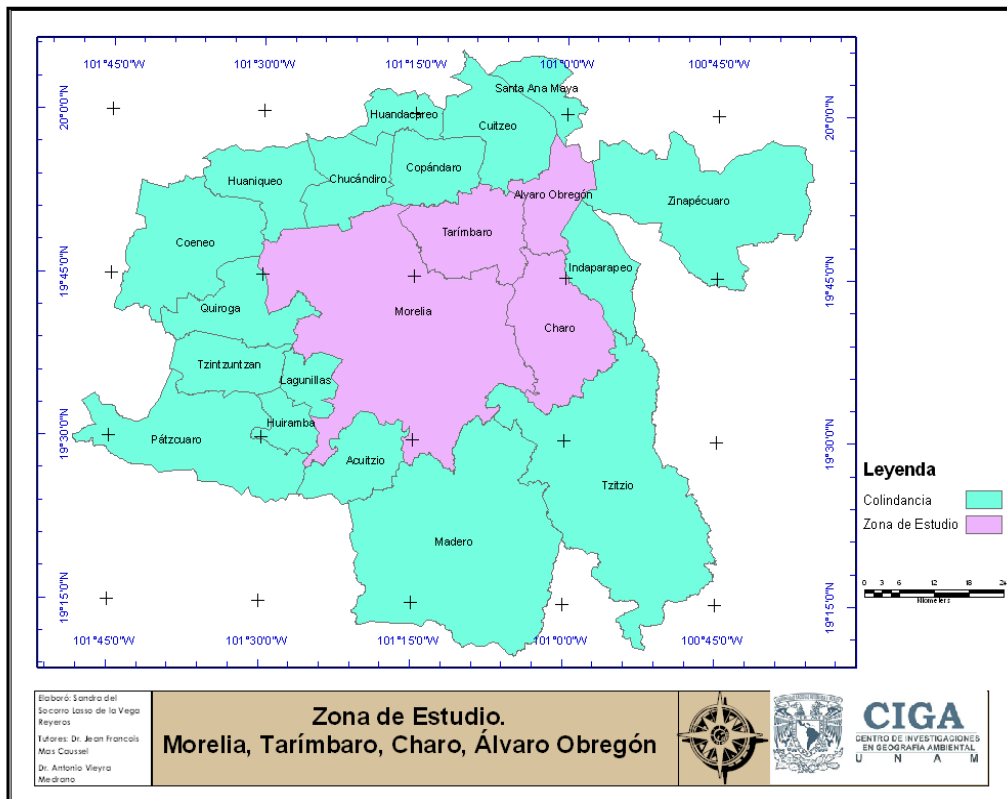


FIGURA 3: MAPA DE LA ZONA DE ESTUDIO Y COLINDANCIAS
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Datos Generales				
Municipio	Población (2010)	Altitud	% Ocupación en el Estado	No. Localidades
Morelia	729,279	1,500 y 3,000 m.	2.04 %	290
Álvaro Obregón	20,913	1,900 y 2,100 m.	0.27 %	46
Charo	21,723	1,300 y 2,800 m.	0.55 %	76
Tarímbaro	78,623	1,900 y 2,400 m.	0.44 %	100
TOTALES	850,538			512

FIGURA 4: TABLA DE DATOS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DEL CENSO DE INEGI (2010)

El I. M. D. U. M. (2010), en su Programa de Desarrollo Urbano 2010, considera que el crecimiento de la ciudad ha sido “anárquico” y “desorganizado”, y que el crecimiento espacial de la misma no coincide con el poblacional al haberse detonado el espacial a un ritmo de mayor aceleración que el poblacional.

Además, en la Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2010 (SEDESOL, CONAPO, INEGI, 2012), Morelia es considerada una zona metropolitana en el país, pues el crecimiento de la ciudad abarca algunas áreas de los municipios de Tarímbaro, Charo y Álvaro Obregón, por lo tanto y tomando estos datos como punto de partida, se hace un análisis sobre algunos aspectos relacionados con el crecimiento y expansión de los asentamientos humanos hacia las áreas aledañas, esto es, el crecimiento urbano y periurbano de la ciudad, así como el desarrollo del modelo, a futuro.

Capítulo 4. Desarrollo del Modelo de Crecimiento Periurbano

4.1 Metodología

A continuación se presentan las principales etapas del proceso de modelización, las cuales se detallarán más adelante:

1. Construcción de base de datos, integrando los diferentes mapas: de vías de comunicación, modelo digital de elevación, información de variables de zonificación urbana, de densidad de población a nivel de Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB's), de planeación del territorio urbano (o de uso de suelo).
2. Monitoreo del crecimiento periurbano de los últimos quince años a través de la interpretación visual de imágenes satelitales de los años 1995, 2000, 2005 y 2010 comparando las fechas consecutivas para evaluar el cambio (incrementos porcentuales, matrices y mapas de cambio).
3. Análisis de los patrones y las variables que influyeron en los cambios, con el método de los pesos de evidencia.
4. Elaboración de un mapa de probabilidad de cambio con base en los pesos de evidencia y los mapas de las variables explicativas.
5. Elaboración de un mapa prospectivo de uso/cobertura de suelo con base en el mapa de probabilidad de cambio y la utilización de células autómatas.
6. Evaluación del modelo comparando el mapa prospectivo simulado contra el mapa real (interpretación de la imagen 2010).

4.1.1 Materiales

Los materiales que se utilizaron en este trabajo son:

Bases cartográficas:

- 1) Ortofotos de Morelia de los años: 1995 (resolución: 2 m.), 2000 (resoluciones: 0.5 y 2.0 m.) y 2005 (resolución: 1 m).
- 2) Imágenes SPOT de finales del 2009 (resolución: 10 m.).

Mapas:

- Modelo Digital de elevación, generado a partir de imágenes Lidar de INEGI. (resolución: 5 m.).
- De vialidades, de INEGI, a escala 1:50,000.
- De cobertura/uso de suelo de los años 1993, 2000 y 2007, de CONABIO la primera, de INEGI la del 2000 y la actualización realizada por el CIGA-UNAM, la última.
- De AGEB's (asociado con datos estadísticos de los censos de INEGI).
- De tenencia de la tierra (Del Plan de Desarrollo Urbano 1998).

De planes de desarrollo:

- De zonificación primaria (áreas urbanas, urbanizables y no urbanizables).
- De zonificación secundaria (zonas habitacionales, industriales, comerciales, áreas naturales protegidas, etc.).

Lo anterior correspondiente a los Planes de Desarrollo Urbano de 1998 y del 2010.

Las plataformas que se utilizaron para la elaboración del modelo fueron:

↔ DINAMICA EGO 64 versiones 2.2.4 y 2.0.10

DINAMICA EGO es un SIG para modelización ambiental, donde se pueden construir y diseñar modelos dinámicos de diversa índole. Para este caso se aprovechan sus funciones para desarrollar el modelo de crecimiento periurbano. Su uso se basa en el hecho de que presenta más potencial por su flexibilidad y sus posibilidades de interacción con otras herramientas (Mas *et al.*, 2014). Para su

utilización se siguió una secuencia de pasos que incluyen: elaboración de una matriz de cambios, cálculo de rangos, cálculo de pesos de evidencia, análisis de la correlación entre mapas y el cálculo y mapeo de probabilidades. Lo anterior con el propósito de elaborar un "Modelo de Simulación de Cambio" y finalmente realizar una validación del modelo simulado.

↔ ESRI ArcMap versión 9.3.1

ArcGIS es un sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. ArcMap es la aplicación central utilizada en ArcGIS. ArcMap es el lugar donde visualizan y exploran los datos del SIG del área de estudio, donde se crean, editan, asignan símbolos y se diseñan los mapas para imprimir o publicar.

ArcMap representa la información geográfica como una colección de capas y otros elementos en un mapa. Los elementos de mapa comunes son el marco de datos, que contiene las capas del mapa para una extensión determinada, más la barra de escala, la flecha de norte, el título, texto descriptivo, una leyenda de símbolos, etc.

4.2 Construcción de la base de datos

Las capas de información a utilizar requieren ser procesadas de una forma específica, para lo cual los insumos para la construcción de la base de datos se adaptaron de la siguiente manera:

- En primer lugar se realizó una interpretación visual de las ortofotos de INEGI de los años 1995, 2000 y 2005, así como de la imagen SPOT del 2010 utilizando la interpretación visual interdependiente (FAO, 1996) para actualizar y/o desactualizar los contornos urbanos delimitados por Vieyra y Larrazábal (2009).
- La interpretación visual interdependiente que propone FAO, se basa en la modificación de los límites entre categorías de una capa base en relación con lo observado en imágenes de otras fechas (Paniagua *et al*, 2011), ésta

tiene la ventaja de que modifica únicamente las áreas en donde hay cambios y de esta forma se pueden elaborar bases de datos multifechas en forma rápida, eficiente y congruente.

- De los contornos delimitados por Vieyra y Larrazábal (2009), el llamado “contorno inmediato” corresponde al límite urbano del año de 1993, éste se utilizó para la interpretación visual, actualizando el contorno con base en las ortofotos de 1995, y modificando los puntos de crecimiento considerando no sólo las zonas de evidente crecimiento, donde hubo construcción de vivienda o infraestructura, sino también en las ubicaciones en donde el cambio de uso de suelo fue hacia la urbanización aunque en ese momento no hubiera aún ninguna construcción manifiesta.
- Esta interpretación visual permitió generar cuatro mapas de contornos urbanos de las fechas analizadas (1995, 2000, 2005 y 2010).
- Una vez obtenidos los mapas correspondientes a los años en estudio, se hizo una identificación de los polígonos para una mejor descripción del cambio. Se identificó al polígono central, como principal, por ser el correspondiente a la ciudad de Morelia y ser la mancha urbana de mayor tamaño y área de influencia, y se definieron como polígonos secundarios todos los demás, los cuales incluyen las localidades de Charo, Tarímbaro, Álvaro Obregón y demás poblaciones, localidades, tenencias y fraccionamientos que forman parte de los municipios de los cuales las localidades mencionadas son cabeceras municipales. También se especificó toda la zona alrededor de los polígonos, la cual no tiene ningún tipo de urbanización. Entonces a partir de esta delimitación, se dejan de utilizar los términos ciudad, localidad, tenencia y la nomenclatura de los mismos para únicamente decir polígono principal y polígonos secundarios, entendiendo que el principal es la mancha urbana de Morelia y los secundarios son el resto.
- Con esta información se estimó la tendencia del crecimiento de la ciudad para los años analizados, así como los porcentajes de cambio

correspondientes, y una comparación entre el crecimiento urbano y el crecimiento poblacional.

- DINAMICA EGO requiere que todos los insumos (tanto los mapas de crecimiento como las variables que van a explicar los cambios) tengan exactamente el mismo tamaño, la misma resolución y el mismo formato, para lo cual se utilizó el programa ArcMap (v 9.3.1). Las imágenes finales quedaron de la manera siguiente: De 2407 líneas por 2585 columnas, con una resolución de 15 por 15 metros y todas en formato raster.
- Algunas de las variables explicativas consisten en distancias euclidianas a los elementos urbanos correspondientes (zonas urbanas, zonas industriales, equipamiento urbano e infraestructura, vialidades, fallas geológicas) para estos procesos también se utilizó el programa ArcMap (v 9.3.1).
- En algunos casos, los mapas o imágenes utilizadas como variables explicativas no cubren en forma total el área de estudio. Esto se debe, básicamente, a que es información obtenida de los programas de desarrollo urbano de la ciudad de Morelia, entonces únicamente abarcan el municipio correspondiente.
- Se había considerado el uso de variables socioeconómicas basadas en la información por Ageb que genera INEGI en sus censos y conteos de población y vivienda, para generar mapas de "Calidad de vivienda y exclusión social" pero esta información tiene inconsistencias de continuidad para cada período, por lo cual se optó por variables exclusivamente económicas de zonificación obtenidas de los Planes de Desarrollo Urbano de los años 1998 y 2010. Esta información de zonificación es la siguiente: zonas habitacionales, zonas industriales, zonas de equipamiento urbano e infraestructura, zonas urbanizables y zonas de preservación y reserva ecológica.

4.3 Modelización Espacial del Crecimiento Periurbano

El proceso de modelización se basa en el análisis de los cambios pasados que permite evaluar las tasas de cambio y la relación especial entre la localización de estos cambios y variables “explicativas” que influyen la distribución espacial de los cambios. Con base en este análisis, se pueden identificar las áreas más propensas a los cambios (mapas de probabilidad de cambio) y elaborar mapas prospectivos. Un modelo basado en un escenario tendencial utiliza los mismos patrones de cambio que los observados en el periodo anterior. Se puede también elaborar escenarios en los cuales estos patrones se alteran debido a un cambio del entorno socio-ambiental (nuevas políticas habitacionales o de conservación o cambios socio-económicos) de la región modelada. Finalmente, se puede evaluar el mapa simulado comparándolo con un mapa “observado”, derivado del análisis de una imagen de satélite que sirve de referencia (Mas y Flamenco-Sandoval, 2011).

4.3.1 Calibración

Esta etapa consiste en evaluar los patrones de cambio de los distintos períodos y brindar información al modelo para determinar la cantidad de cambio, los tipos de transiciones y la localización más probable de los mismos. Para ello, se sobreponen los mapas de los años 1995 y 2000 para generar una matriz de cambio que indica la superficie de cada tipo de transición durante el periodo de observación (5 años en este caso). Esta matriz de cambio puede transformarse en una matriz de probabilidad de cambio (matriz de Markov) que indica la probabilidad de ocurrencia de cada transición durante un año y permite realizar proyecciones sobre una base anual (Soares-Filho *et al.*, 2002).

Para identificar las áreas más propensas a los cambios, se compara cartográficamente, para cada transición, la localización de los cambios respecto a diferentes variables explicativas cartografiadas. Esta comparación permite establecer una relación entre el potencial de cambio y las variables a través de

diferentes enfoques como análisis multi-criterio, regresiones, pesos de evidencia o redes neuronales, entre otros. DINAMICA EGO brinda herramientas para elaborar mapas de probabilidad de cambio con el método de los pesos de evidencia y eventualmente modificarlos utilizando algoritmos genéticos (Soares-Filho *et al.*, 2009).

4.3.2 Elaboración de la matriz de de transición

Se lleva a cabo una matriz de probabilidad anual la cual consiste en una tabla simétrica de doble entrada en cuyas filas y columnas se presentan las diferentes categorías de cubierta (Polígono urbano principal, polígonos urbanos secundarios y área no urbanizada) y en cada celda la superficie de las áreas que experimentaron cambios entre los años 1995 y 2000. Las celdas situadas en la diagonal de la matriz contienen la superficie de aquellas áreas que no experimentaron cambios durante el período (López *et al.* 2001).

La matriz de transición se calcula para un período de tiempo, que en este caso son 5 años.

4.3.3 Cálculo de rangos: Para la transformación de las variables continuas en discretas

Los pesos de evidencia solamente se pueden calcular para variables categóricas, por esta razón las variables continuas se categorizan en rangos, para posteriormente derivar los pesos de evidencia. De esta manera el modelo selecciona para cada variable el número de intervalos y su tamaño de almacenamiento, con el propósito de mejorar la estructura de los datos. Esto se realiza a través de un modelo que permite escoger los rangos que delimitan categorías las cuales tienen un efecto diferencial sobre los cambios (Quiróz, 2009).

El modelo genera un archivo de texto que expresa los rangos óptimos para categorizar cada variable continua para todas las transiciones contempladas. Estos resultados son utilizados como insumo de entrada para el cálculo de los coeficientes de pesos de evidencia (Quiróz, 2009).

4.3.4 Cálculo de los pesos de evidencia

El cálculo de pesos de evidencia se basa en las probabilidades de transición de uso/cobertura, basado enteramente en el “Teorema de Bayes”, que trata de la probabilidad condicional, la cual es la probabilidad de que un evento ocurra, dado que otro evento, independiente del primero ya ocurrió (Bonham-Carter, 1994).

Este proceso se realiza para cada transición tomando en cuenta variables explicativas binarias (por ejemplo: dentro/fuera de un área protegida) o con múltiples categorías (tipos de tenencia de la tierra, rangos de pendiente) (Mas y Flamenco-Sandoval, 2011).

Cuando la presencia de la condición tiende a aumentar la probabilidad del evento, el valor del peso es positivo. Cuando la presencia de la condición tiende a disminuir la probabilidad del evento, este valor es negativo. El método de los pesos de evidencia permite combinar diferentes patrones de forma simultánea, en una única ecuación para el cálculo de probabilidad (Quiróz, 2009).

Estos pesos de evidencia se expresan mediante gráficas (una gráfica por variable explicativa), en las que es posible observar de qué manera la variable analizada influye en el proceso de cambio, así como con archivos de texto que indican la transición y la variable con sus correspondientes pesos y rangos.

Una vez generados los pesos de evidencia, los valores de éstos se editan, con base en lo que se conoce como el “conocimiento experto” que es una edición manual de los pesos obtenidos.

Esta operación, muy sencilla de realizar en la interface gráfica de DINAMICA EGO consiste en modificar el valor de los pesos cuando no eran estadísticamente significativos pero también cuando se consideraba que, aunque el valor fuera estadísticamente significativo, la forma de la curva representaba más los cambios que ocurrieron durante el periodo de calibración que una tendencia más general e idónea para realizar proyecciones a futuro. En general, estos cambios consistieron en suavizar las curvas (Mas y Flamenco-Sandoval, 2011).

4.3.5 Análisis de la correlación entre mapas

Para el cálculo de probabilidad condicional, se requiere que las variables utilizadas para el cálculo de los pesos de evidencia, sean espacialmente independientes. Para verificar esta independencia se utilizan en este modelo el índice de Cramer y el “Joint Information Uncertainty” (Bonham-Carter, 1994). Esto es realizado para todas las posibles combinaciones de pares de mapas.

Los valores de los dos índices que nos interesan varían de cero a uno y en la medida en que el valor se acerque a uno, las variables comparadas tienen mayor correlación, es decir son más parecidas. Para el índice de Cramer el límite de tolerancia que se adoptó es de 0.45 y 0.35 para el “Joint Information Uncertainty”, mismos que fueron usados por Almeida (2003).

Variables altamente correlacionadas, tienen el mismo efecto en los cambios, lo que significa, que al introducir dos variables con correlación alta, se estarían “duplicando” los pesos de evidencia y sobreestimando el efecto de dichas variables en el cálculo de la probabilidad (Bonham-Carter, 1994).

4.3.6 Cálculo y mapeo de probabilidades

El enfoque de los pesos de evidencia permite combinar diferentes patrones en forma simultánea, en una única ecuación para el cálculo de probabilidad, que se

entiende como la “Probabilidad condicional” de cada transición, es decir la probabilidad de ocurrencia de las transiciones en presencia o bajo la influencia simultánea de las variables que influyen los cambios (Bonham-Carter, 1994). Este cálculo, tomando en cuenta varias condiciones es sencillo, ya que simplemente se suman los pesos de evidencia y permite la elaboración de un mapa de probabilidades, el cual expresa espacialmente el cálculo obtenido.

4.3.7 Escenarios

Teniendo el mapa de probabilidad para el período calibrado se genera el “Escenario Tendencial”, el cual replica en la simulación los patrones observados con la calibración. Posteriormente se generaron dos escenarios más, el primero llamado “Escenario PDU 1998” al que se le agregaron los datos de zonificación urbana del Programa de Desarrollo Urbano (PDU) 1998 y el segundo escenario, llamado “Descentralización” el cual se produjo con información del crecimiento habitacional suscitado a raíz del programa de vivienda del año 2000.

La intención del “Escenario PDU 1998” fue mostrar lo que hubiera sucedido si el Programa de Desarrollo Urbano de 1998 (PDU 1998) se hubiera respetado. Para conseguirlo se le dio mayor peso a la zonificación de protección del mismo; esto es que, en las zonas correspondientes a reserva y protección ecológica, así como en el parque nacional, se asignaron valores a los pesos de evidencia, de tal manera que no se permitieran los cambios en crecimiento hacia estas áreas.

Con esto se obtuvieron mapas de probabilidades, así como incrementos porcentuales de crecimiento y un mapa simulado final para el año 2020.

El escenario “Descentralización” se desarrolló como contraparte a los anteriores, basado en un crecimiento reorientado hacia polos de desarrollo diferentes del centro (la ciudad de Morelia), siguiendo la teoría de Borsdorf (2003) de la ciudad fragmentada la cual dice que actualmente las ciudades latinoamericanas tienden a crecer formando estructuras de nodos fragmentados. Para lograr esto, en primer lugar, se identificaron los municipios al norte y noreste de la localidad para

convertirlos en polos de atracción, entonces se le agregó al modelo esta variable extra, con las localidades de Tarímbaro, Álvaro Obregón y Charo a manera de “imanes”. En segundo lugar se aumentó el valor de la tasa de crecimiento.

Se obtuvieron mapas de probabilidades, así como incrementos porcentuales y un mapa simulado final para el año 2020.

4.3.8 Validación del modelo

La validación del modelo consiste en comparar la coincidencia espacial entre los cambios simulados y los cambios observados.

Para evaluar los mapas prospectivos se modela un mapa para una fecha para la cual se dispone de un mapa observado o de referencia. Esta comparación se basa en los cambios únicamente ya que generalmente un mapa observado y su par simulado tienen mucha coincidencia debido a las áreas que no cambiaron (Paegelow y Camacho Olmedo, 2005). Se utilizó un método difuso que permite manejar una cierta tolerancia en los casos en los cuales no existe una coincidencia perfecta entre las áreas de cambio simuladas y las observadas. Este método consiste en hacer dos comparaciones, primero se define un área de influencia alrededor de los parches de los cambios simulados y se compara contra los parches observados; así mismo, se define el área de influencia alrededor de los cambios observados y entonces, tomar como coincidencia los parches de cambio simulados que entran en esta área. Debido a que no es equiparable aplicar el área de influencia a los parches simulados o a los observados, se procede de ambas maneras y se toma en cuenta el valor mínimo de los dos valores de coincidencia obtenidos. Se realizó esta operación con base en diferentes distancias de tolerancia (Mas y Flamenco-Sandoval, 2011).

Habiendo explicado cada una de las etapas que formaron parte del proceso por el cual se desarrolló el modelo, se da paso a los resultados obtenidos a partir del mismo, así como a los comentarios finales.

Capítulo 5. Resultados, Discusión y Conclusiones

5.1 Resultados y Validación del Modelo

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos por los diferentes escenarios modelados, también se evalúa la confiabilidad del mismo para prospectar el crecimiento urbano y periurbano de la ciudad.

5.1.1 Interpretación Visual Interdependiente

Esta interpretación permitió generar el mapa de 1995 (Figura 5a), el cual se sobrepuso en la ortofoto correspondiente al año 2000 y se actualizó al nuevo mapa (Figura 5b), posteriormente se sobrepuso el mapa producido sobre la ortofoto del año 2005 para crear el mapa de dicho año (Figura 5c) y finalmente este último encima de la imagen Landsat 2010 para originar el mapa final 2010 (Figura 5d).

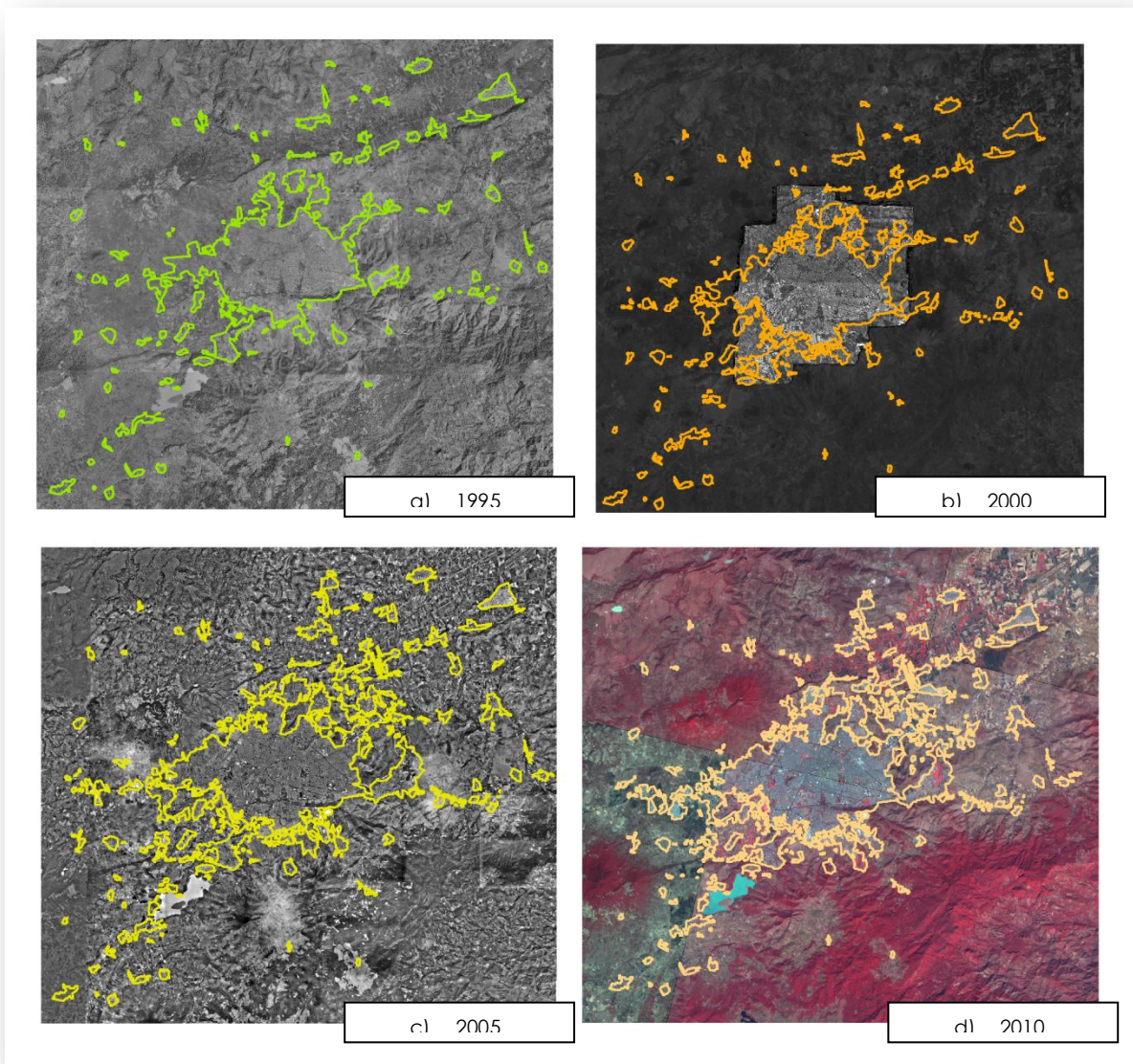


FIGURA 5: CONTORNO DE LAS ÁREAS URBANAS, DELIMITADOS POR LA INTERPRETACIÓN VISUAL
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

5.1.2 Tendencias de Crecimiento

Las tendencias de crecimiento urbano se analizaron tanto en forma independiente, por polígonos (principal y secundarios), como para todo el conjunto.

En las siguientes figuras (6, 7 y 8) se nota este crecimiento en períodos de 5 años. Además se puede observar que el crecimiento en los dos primeros períodos es, hasta cierto punto, acelerado, pues en el primer quinquenio el incremento

porcentual de crecimiento es del 14%, en el segundo período es del 24% pero en el último período hay cierta desaceleración pues el crecimiento es del 13%.

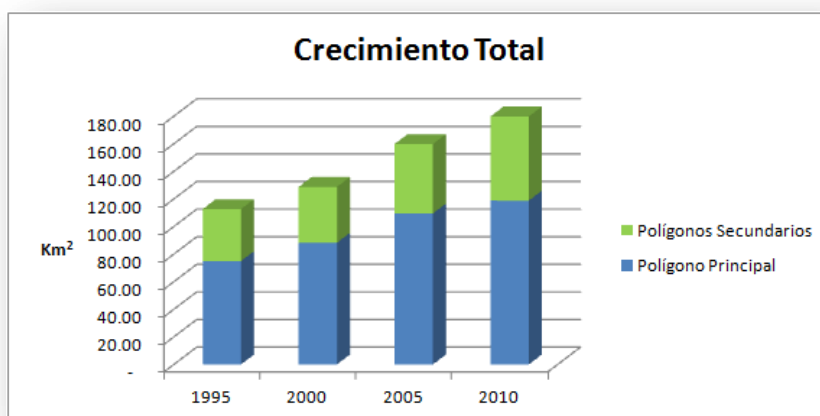


FIGURA 6: GRÁFICA DEL ÁREA DEL CRECIMIENTO URBANO TOTAL (POR TIPO DE POLÍGONO)
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CRECIMIENTO PERIURBANO						
	Polígono Principal (km ²)	Incremento Porcentual (%)	Polígonos Secundarios (km ²)	Incremento Porcentual (%)	Crecimiento Total (km ²)	Incremento Porcentual (%)
1995	75.00		38.00		113.00	
2000	88.00	18	40.00	7	129.00	14
2005	109.00	24	50.00	25	160.00	24
2010	119.00	9	61.00	21	180.00	13

FIGURA 7: TABLA DEL CRECIMIENTO PERIURBANO
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CRECIMIENTO POBLACIONAL		
	No. Habitantes	Incremento Porcentual de Crecimiento (%)
1995	652,239	
2000	698,611	7
2005	773,737	11
2010	850,538	10

FIGURA 8: TABLA DEL CRECIMIENTO POBLACIONAL
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

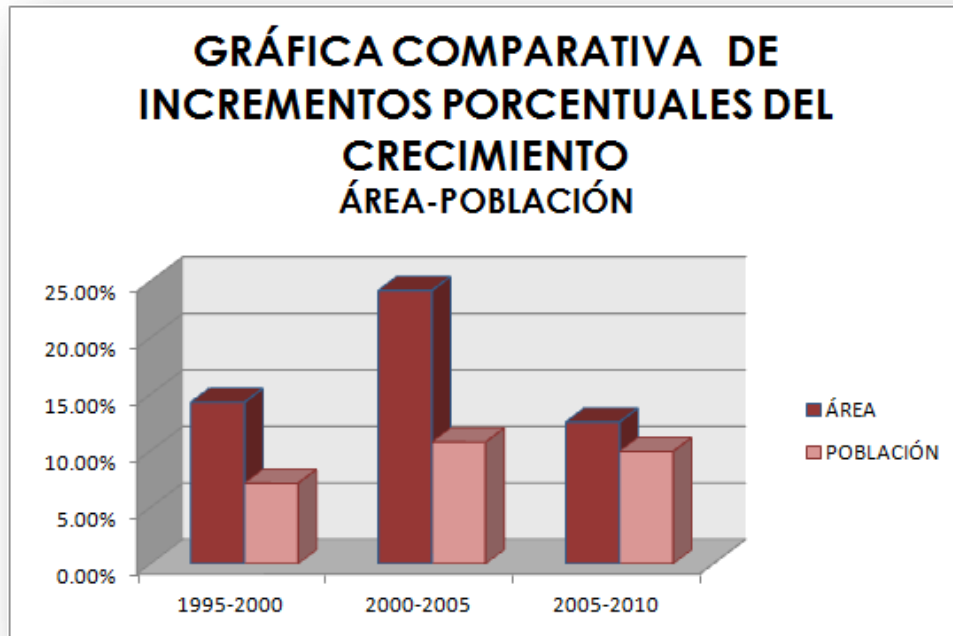


FIGURA 9: GRÁFICA DE COMPARACIÓN DE TASAS DE CRECIMIENTO ÁREA-POBLACIÓN
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

En la gráfica que compara el crecimiento real de la población contra el crecimiento de la superficie de la ciudad (Figura 9) se observa que, en el período de estudio, Morelia se ha extendido más que lo que ha aumentado su población. En el quinquenio 1995-2000 la diferencia fue del doble, pero del 2000 al 2005 la población sólo aumentó en casi un 11% pero la ciudad creció un 24%.

5.1.3 Calibración

5.1.3.1 Matriz de probabilidad de cambio

El cálculo de la matriz de probabilidades de transición (Figuras 10 y 11) generó los siguientes resultados:

MATRIZ TOTAL DEL PERÍODO (1995-2000)			
	Área No Urbanizada	Polígono Principal	Polígonos Secundarios
Área No Urbanizada	0.9875126	0.0069643	0.0055231
Polígono Principal	---	---	---
Polígonos Secundarios	---	0.11513	0.88487

FIGURA10: MATRIZ TOTAL DEL PERÍODO
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

MATRIZ ANUAL			
	Área No Urbanizada	Polígono Principal	Polígonos Secundarios
Área No Urbanizada	0.9974899	0.0013448	0.0011653
Polígono Principal	---	---	---
Polígonos Secundarios	---	0.0241662	0.9758338

FIGURA11: MATRIZ ANUAL
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

La matriz que se genera en este caso arroja como resultado que los cambios se manifiestan en tres transiciones:

- ✓ Transición del Crecimiento Periurbano. Llamada así debido a que es el crecimiento de los polígonos secundarios hacia las zonas no urbanizadas.
- ✓ Transición del Crecimiento Urbano. Es el cambio que se observa de crecimiento del polígono principal hacia zonas no urbanizadas.
- ✓ Transición No. 3: En esta transición algunos polígonos secundarios se integran con el principal.

Las tasas de cambio que se observan en la matriz anual son las que se utilizan para calcular la cantidad de cambio proyectado.

Se analizaron las transiciones “Crecimiento Urbano” y “Crecimiento Periurbano”, pues son las que expresan las modificaciones en el paisaje motivo de estudio.

5.1.3.2 Variables explicativas

Las variables explicativas que se utilizaron para el análisis, se dividieron en tres grandes grupos: físicas, de zonificación urbana y económicas.

Las variables explicativas físicas (Figura 12), que se eligieron son:

- ↔ Mapa de cobertura/uso de suelo 1993.
- ↔ Mapa de distancias a vialidades principales.
- ↔ Mapa de distancias a todas las vialidades.
- ↔ Mapa de distancia a fallas geológicas.
- ↔ Modelo digital de elevación (MDE).

↔ Mapa de pendientes.

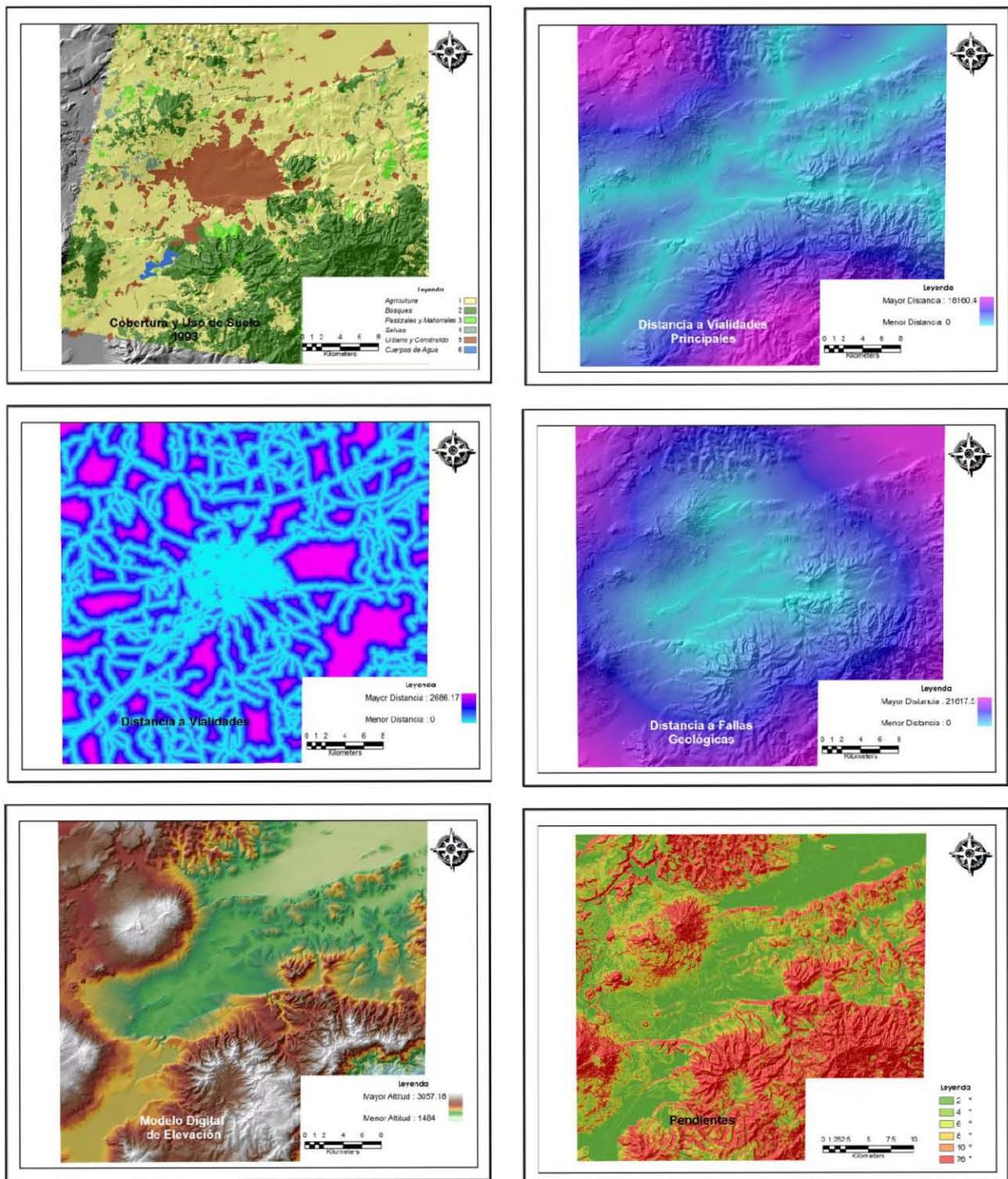


FIGURA 12: VARIABLES EXPLICATIVAS FÍSICAS. (EN RELIEVE SOMBRADO)
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Las variables explicativas de zonificación urbana (Figura 13) que se utilizaron son:

- ↔ Mapa de zonificación urbana según el Plan de Desarrollo Urbano 1998, el cual incluye el Área urbanizable al año 2015, zonas de preservación y reserva ecológica y un parque nacional.
- ↔ Mapa de distancias a zonas habitacionales.
- ↔ Mapa de distancias a zonas industriales.
- ↔ Mapa de distancias a zonas de equipamiento e infraestructura.
- ↔ Mapa de tenencia de la tierra.

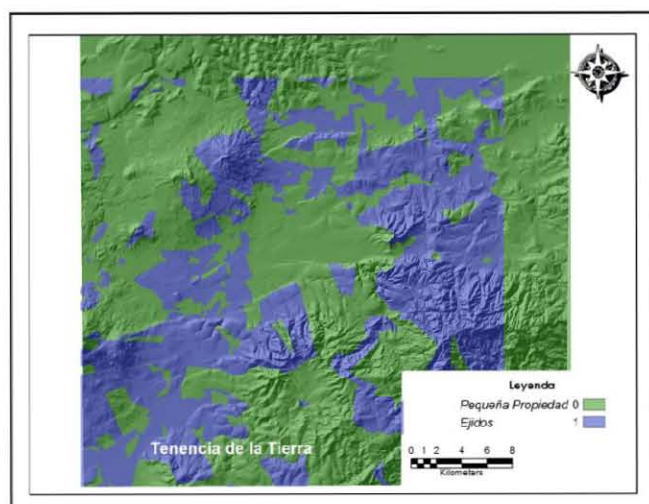
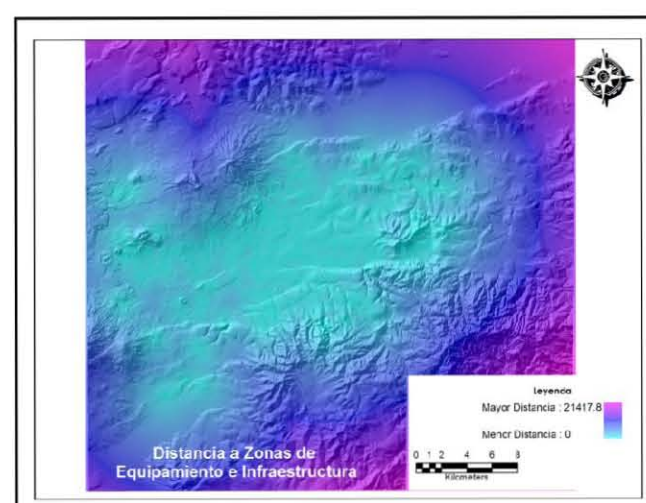
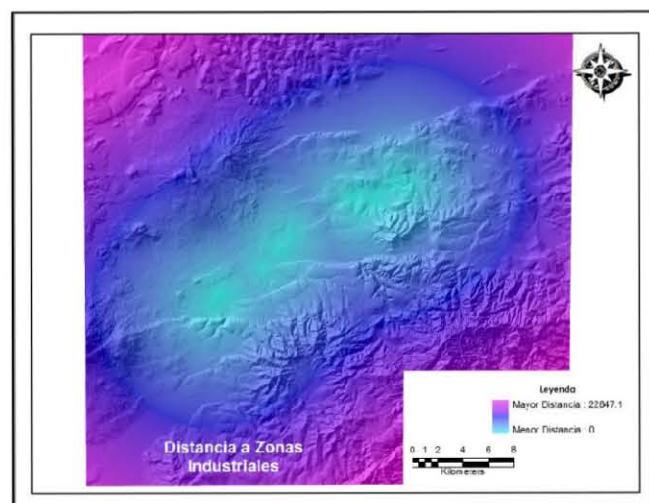
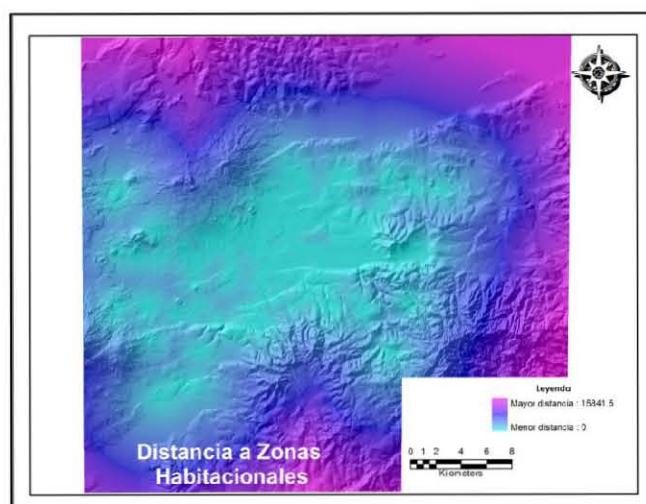
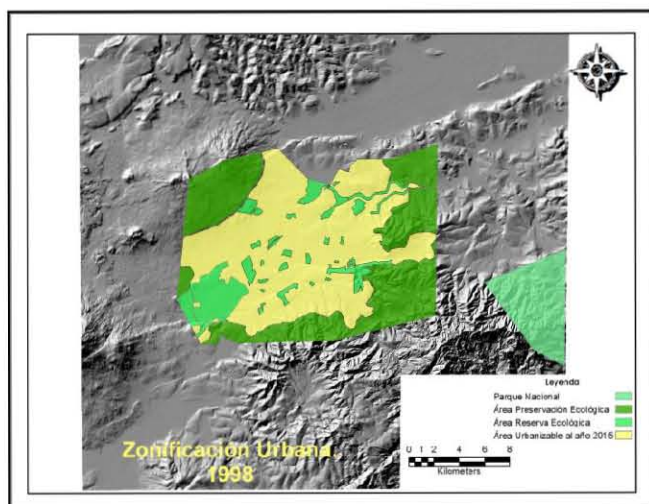


FIGURA 13: VARIABLES EXPLICATIVAS DE ZONIFICACIÓN URBANA. (EN RELIEVE SOMBRADO)
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

La variable explicativa demográfica (Figura 14), que se utilizó es:

↔ Mapa de densidad de población del año 1995.

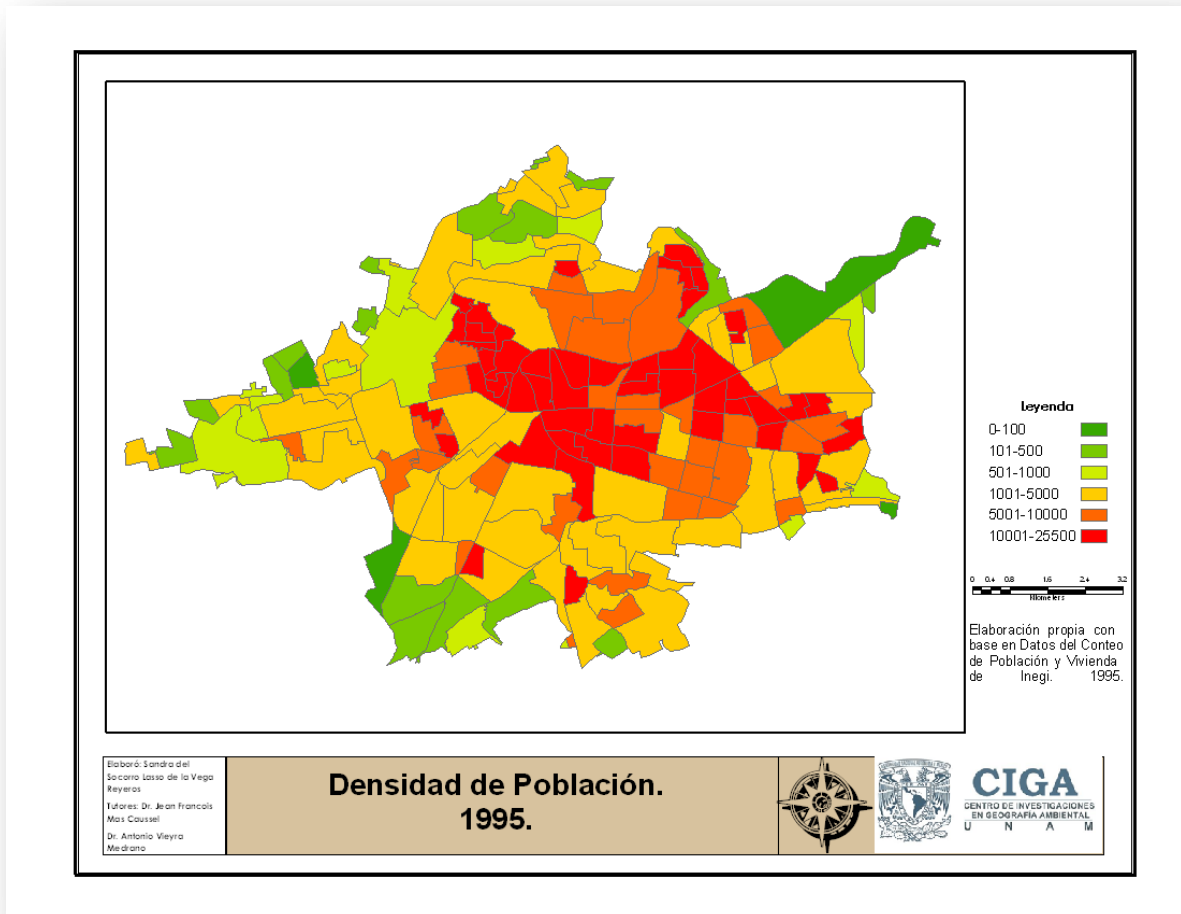


FIGURA 14: MAPA DE DENSIDAD DE POBLACIÓN. 1995
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS DEL CONTEO DE POBLACIÓN Y VIVIENDA DE INEGI (2005)

5.1.3.3 Pesos de evidencia

Todas las variables influyen de cierta forma en el crecimiento periurbano o en el urbano, así que a manera de ejemplo citaremos solo algunas:

CRECIMIENTO PERIURBANO

Densidad de Población

En la gráfica de densidad de población (Figura 15), se puede observar que en las densidades intermedias (Rangos de Densidad, eje x) se presenta más el crecimiento periurbano de la zona metropolitana de Morelia que en las zonas de baja o alta densidad (Peso de Evidencia, eje y). Si se observa el mapa de densidades se puede notar que las zonas de alta densidad están en el centro de la ciudad, saturando los espacios y limitando las reservas de crecimiento por lo que ya no pueden crecer. Por otra lado las zonas de baja densidad son muy pocas, y por esta razón el valor en la gráfica es bajo.

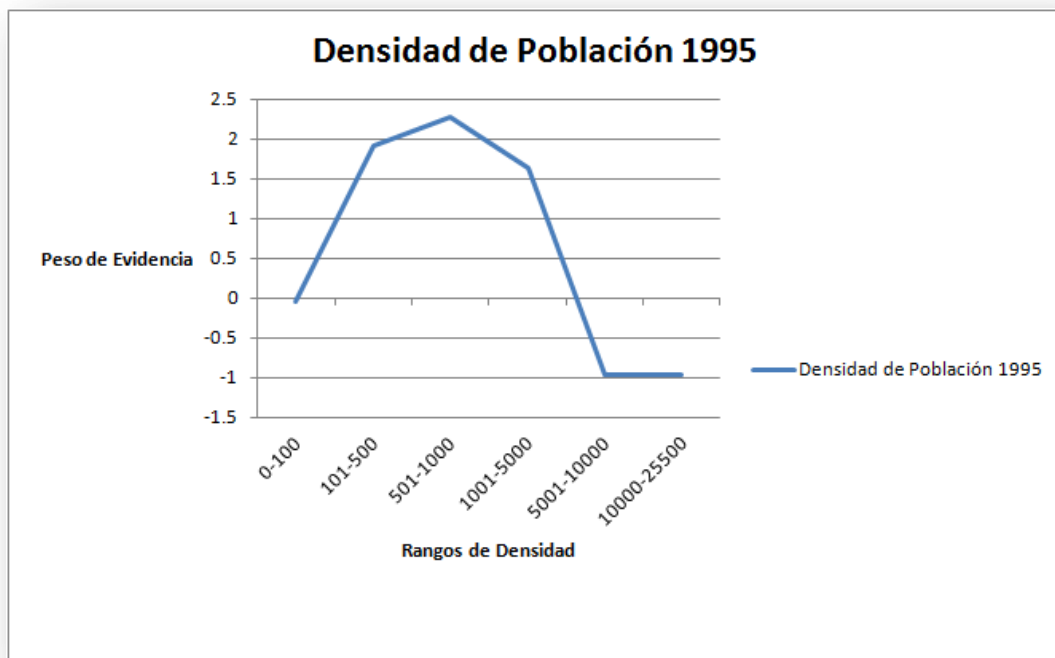


FIGURA 15: GRÁFICA EJEMPLO DE PESOS DE EVIDENCIA: DENSIDAD DE POBLACIÓN
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Crecimiento planeado de 1998 al 2015, y Zonas de Reserva y Preservación Ecológica

La figura 16 muestra que en las zonas de Reserva Ecológica y áreas urbanizables del Plan de Crecimiento Urbano de 1998-2015, hubo urbanización y en las Zonas

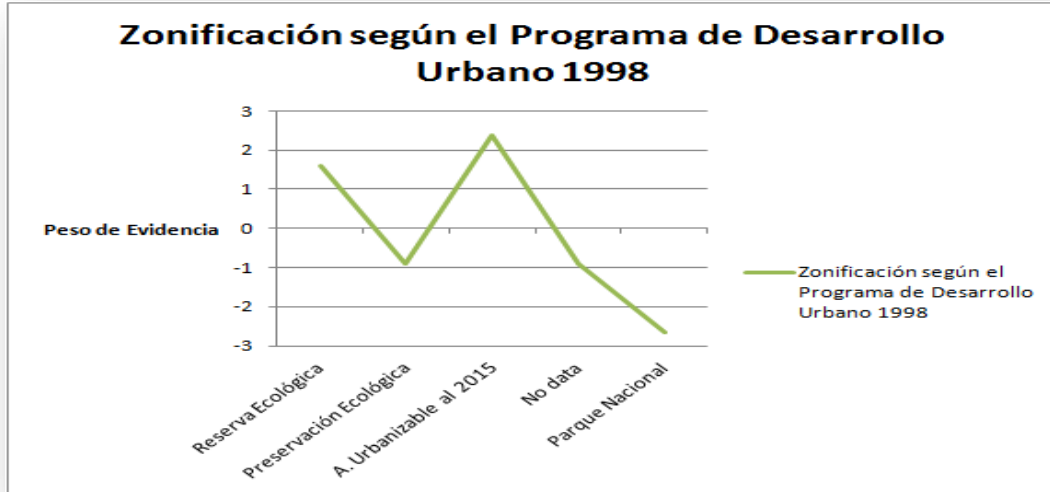


FIGURA 16: GRÁFICA EJEMPLO DE PESOS DE EVIDENCIA: ZONIFICACIÓN SEGÚN EL PDU DE 1998
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

de Preservación así como del Parque Nacional considerado en 1998 no la hubo.

CRECIMIENTO URBANO

Pendientes

La gráfica (Figura 17) muestra que la relación entre el crecimiento urbano del polígono principal hacia las zonas con pendientes se da más, esto es que el polígono principal si crece hacia estas zonas, particularmente en las pendientes

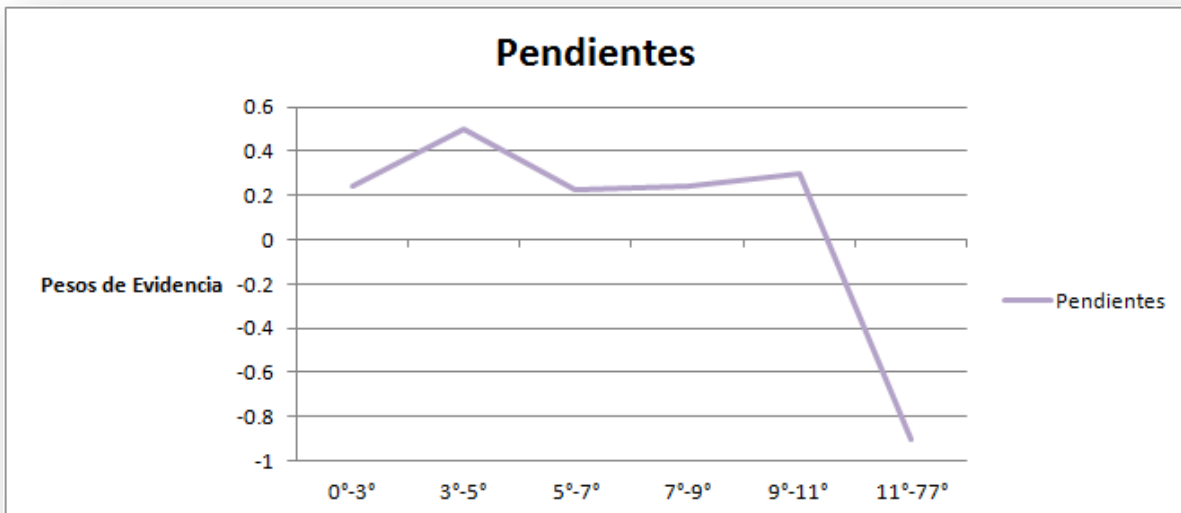


FIGURA 17: GRÁFICA EJEMPLO DE PESOS DE EVIDENCIA: PENDIENTES
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

menos pronunciadas, desde 0° y hasta 11°, a partir de ahí sigue dándose el crecimiento pero en un porcentaje muy bajo.

Distancia e Equipamiento e Infraestructura

Esta gráfica (Figura 18) muestra que muy cerca de las zonas de equipamiento e infraestructura el crecimiento urbano se observa y conforme la distancia se va incrementando hay cada vez menos este crecimiento.

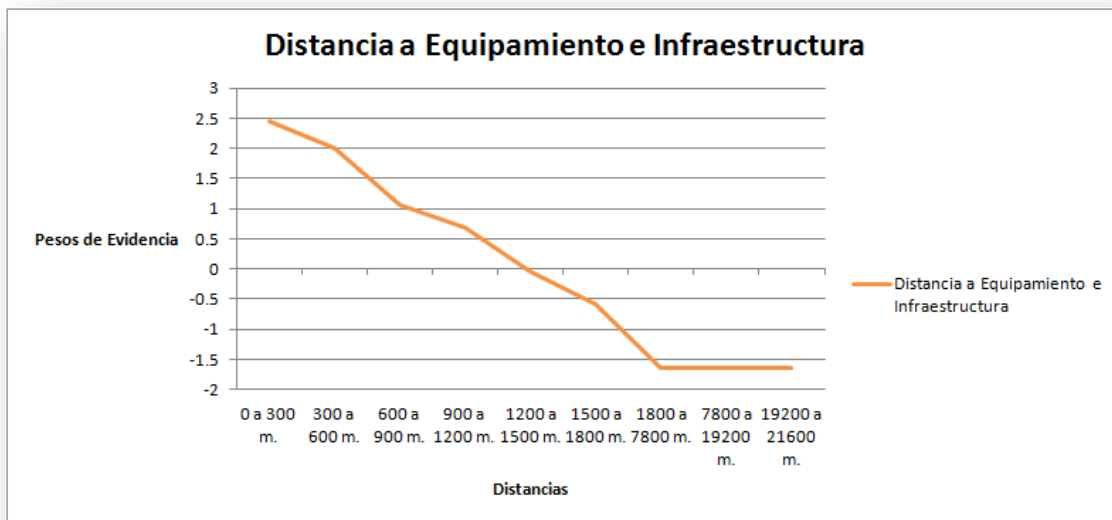


FIGURA 18: GRÁFICA EJEMPLO DE PESOS DE EVIDENCIA: DISTANCIA A EQUIPAMIENTO E INFRAESTRUCTURA
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

5.1.3.4 Análisis de la correlación entre mapas

Las correlaciones altas observadas en este análisis, para cada par de mapas, fueron entre distancias a zonas habitacionales y distancia a equipamiento e infraestructura contra el mapa de zonificaciones según el Programa de Desarrollo Urbano 1998, únicamente para el caso de la transición de crecimiento periurbano.

Pero debido a la particularidad de que las tolerancias con el índice de Cramer fueron, solamente, medianamente altas (entre 0.43 y 0.46), las variables no se eliminaron por ser consideradas importantes para el resultado final del estudio.

5.1.3.5 Mapas de probabilidades

Con los pesos de evidencia definidos y corregidos, se producen los mapas de probabilidad para cada transición, esto es, que “se define la probabilidad de ocurrencia de las transiciones en presencia o bajo la influencia simultánea de las variables que expresan los cambios” (Quiróz, 2009).

Esta probabilidad de ocurrencia se puede observar en los mapas siguientes (Figuras 19 y 20), en donde las mayores probabilidades de que se dé el crecimiento urbano y periurbano se observan en las zonas en rojo y las menores probabilidades en las zonas en azul:

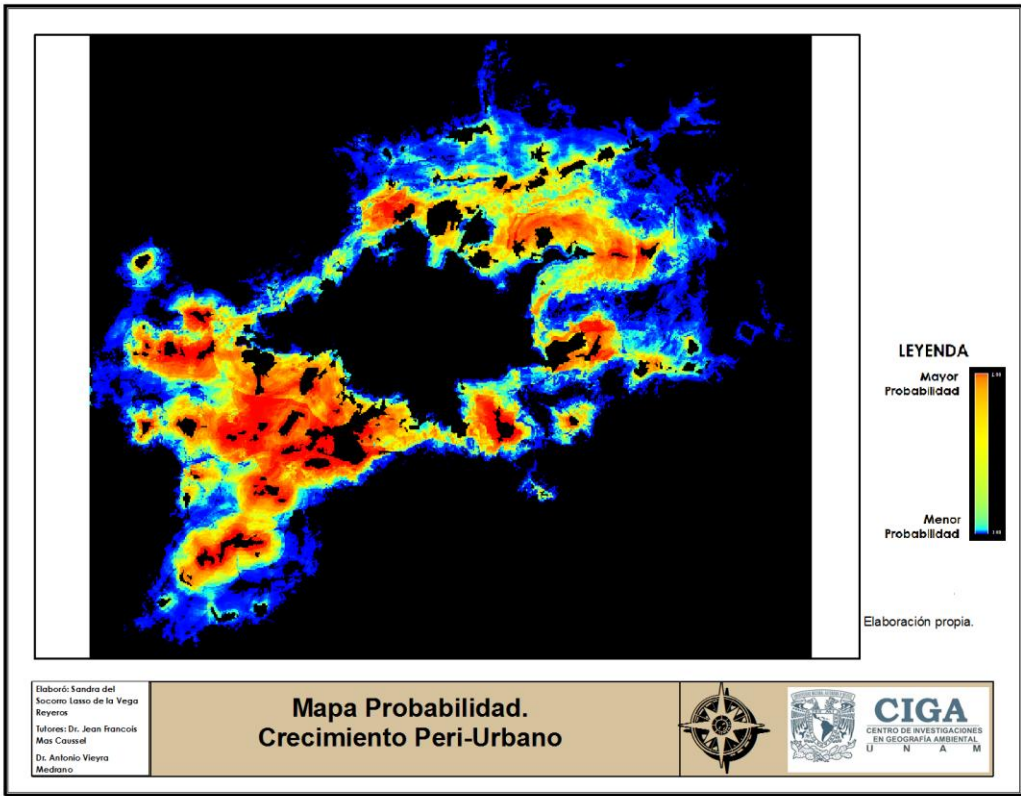


FIGURA 19: MAPA DE PROBABILIDAD. CRECIMIENTO PERIURBANO
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

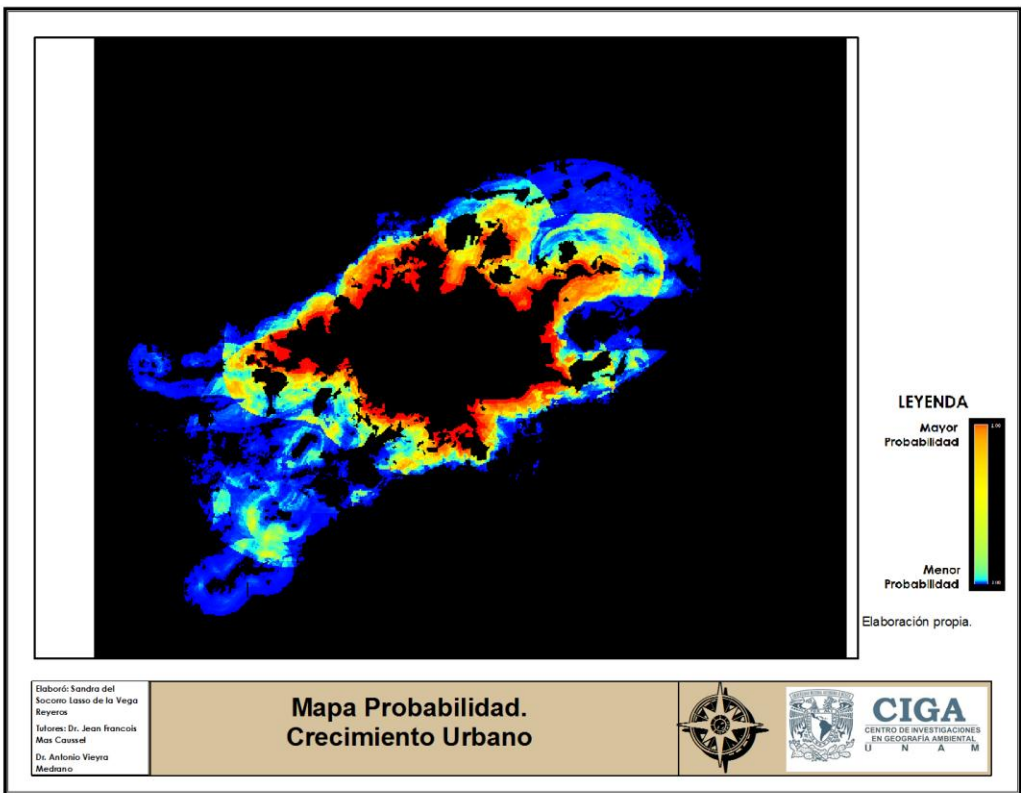


FIGURA 20: MAPA DE PROBABILIDAD. CRECIMIENTO URBANO
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

5.1.3.6 Escenarios

Escenario Tendencial

Con los parámetros delimitados, el modelo se corrió para 20 años. Al año 2020 (Figuras 21-23) los resultados de esta simulación son los siguientes:

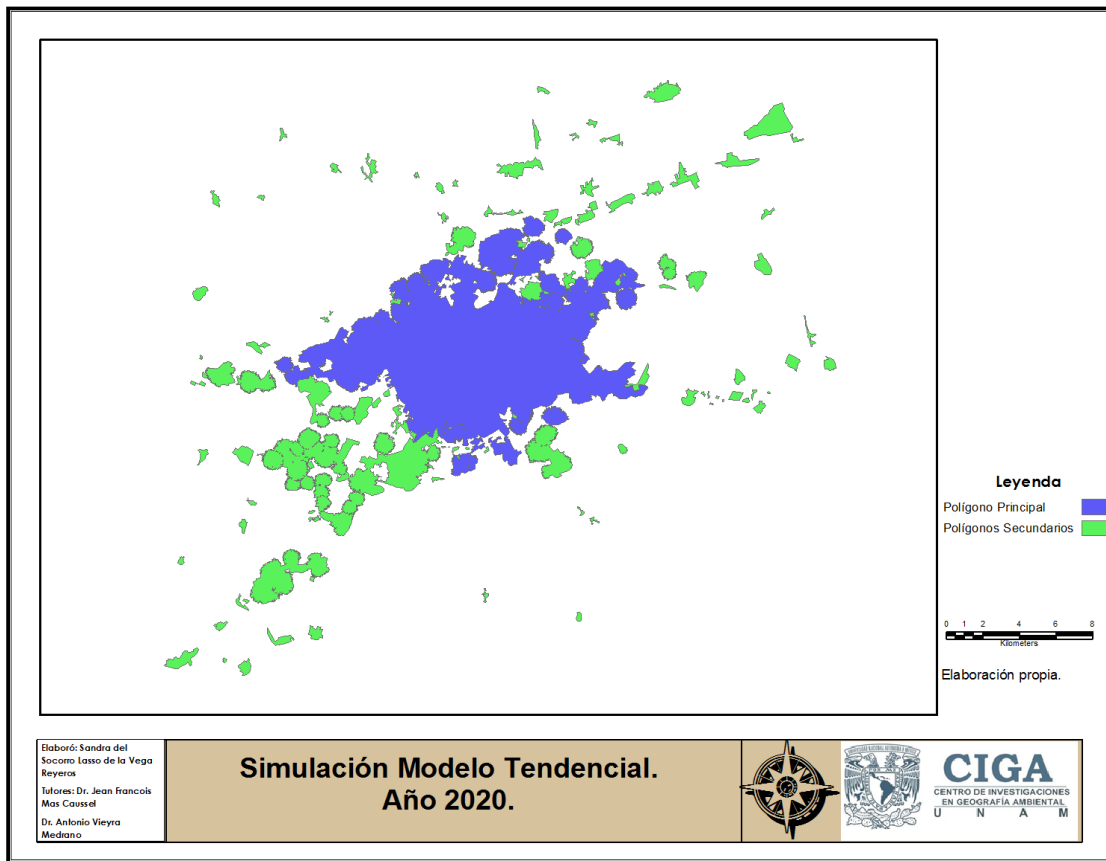


FIGURA 21: MAPA DE SIMULACIÓN "ESCENARIO TENDENCIAL". AÑO 2020
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CRECIMIENTO PERIURBANO						
	Polígono Principal (km ²)	Incremento Porcentual (%)	Polígonos Secundarios (km ²)	Incremento Porcentual (%)	Crecimiento Total (km ²)	Incremento Porcentual (%)
2000	88.00		40.00		129.00	
2005	97.00	10	48.00	18	144.50	12
2010	105.00	9	55.00	15	160.00	11
2015	113.00	8	62.50	13	176.00	10
2020	121.50	7	70.00	12	191.00	9

FIGURA 22: TABLA DE CRECIMIENTO PERIURBANO. "ESCENARIO TENDENCIAL"
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

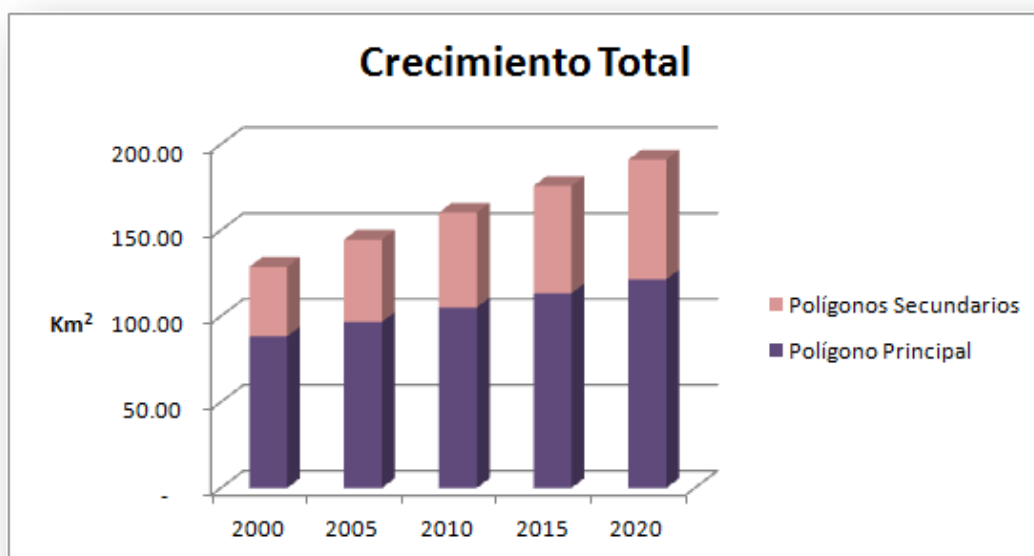


FIGURA 23: GRÁFICA DEL ÁREA DE CRECIMIENTO TENDENCIAL TOTAL POR TIPO DE POLÍGONO
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Como se observa, este escenario arroja lo siguiente: Si la tendencia de crecimiento continúa en la misma línea, entonces la ciudad continuará creciendo pero a un ritmo desacelerado, pues en cada período se nota que el incremento porcentual de crecimiento es menor.

Este escenario plantea las probabilidades de crecimiento en zonas cercanas a los polígonos de origen, entonces el crecimiento proyectado se manifiesta cerca de estos.

Escenario PDU 1998

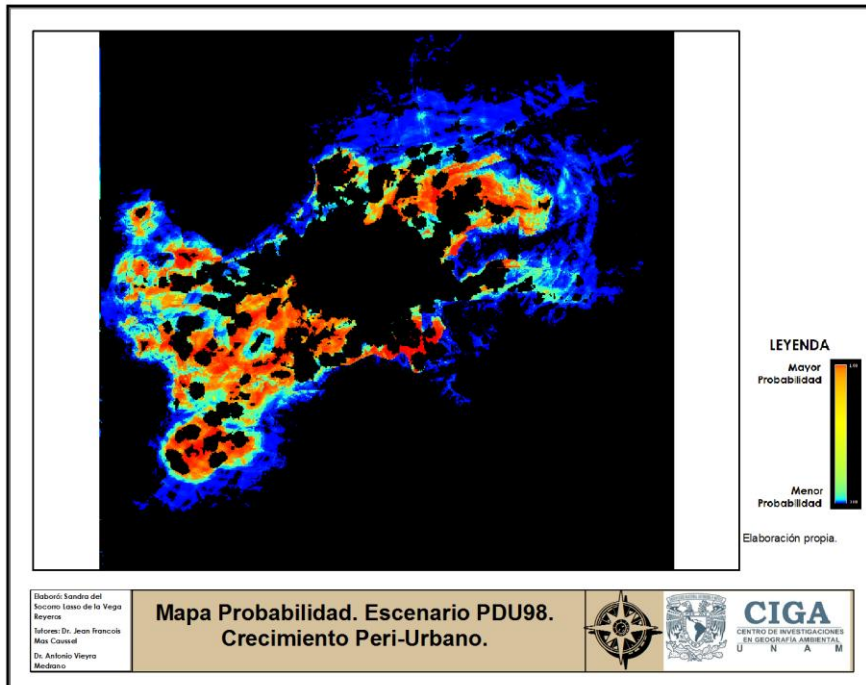


FIGURA 24: MAPA DE PROBABILIDAD. CRECIMIENTO PERIURBANO. ESCENARIO PDU 1998
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

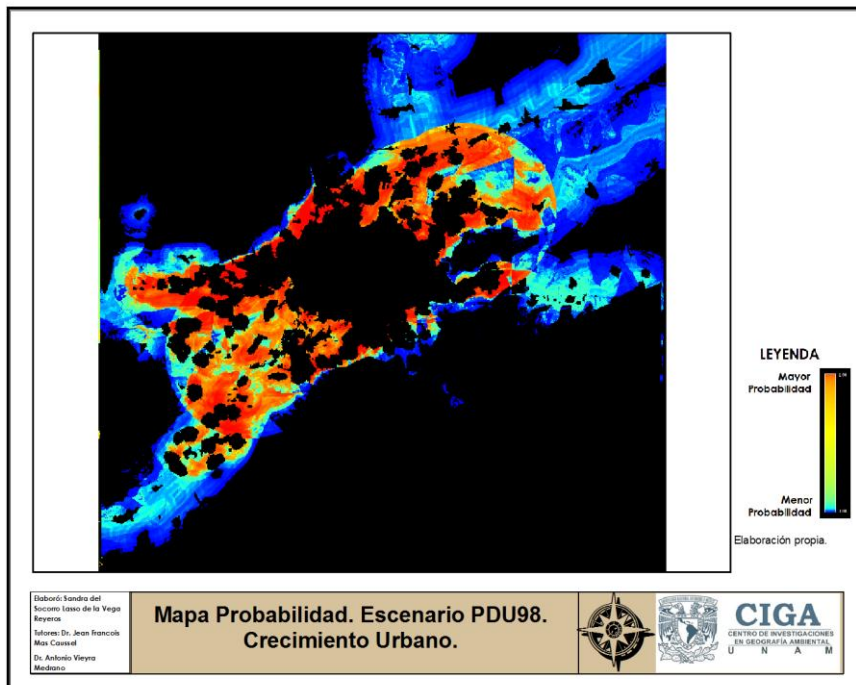


FIGURA 25: MAPA DE PROBABILIDAD. CRECIMIENTO URBANO. ESCENARIO PDU 1998
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CRECIMIENTO PERIURBANO						
	Polígono Principal (km ²)	Incremento Porcentual (%)	Polígonos Secundarios (km ²)	Incremento Porcentual (%)	Crecimiento Total (km ²)	Incremento Porcentual (%)
2000	88.00		40.50		129.00	
2005	97.00	10	48.00	18	144.50	12
2010	105.00	9	55.00	15	160.00	11
2015	113.50	8	62.00	13	176.00	10
2020	122.00	7	69.00	11	191.00	9

FIGURA 27: TABLA DE CRECIMIENTO PERIURBANO. "ESCENARIO PDU 1998"
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

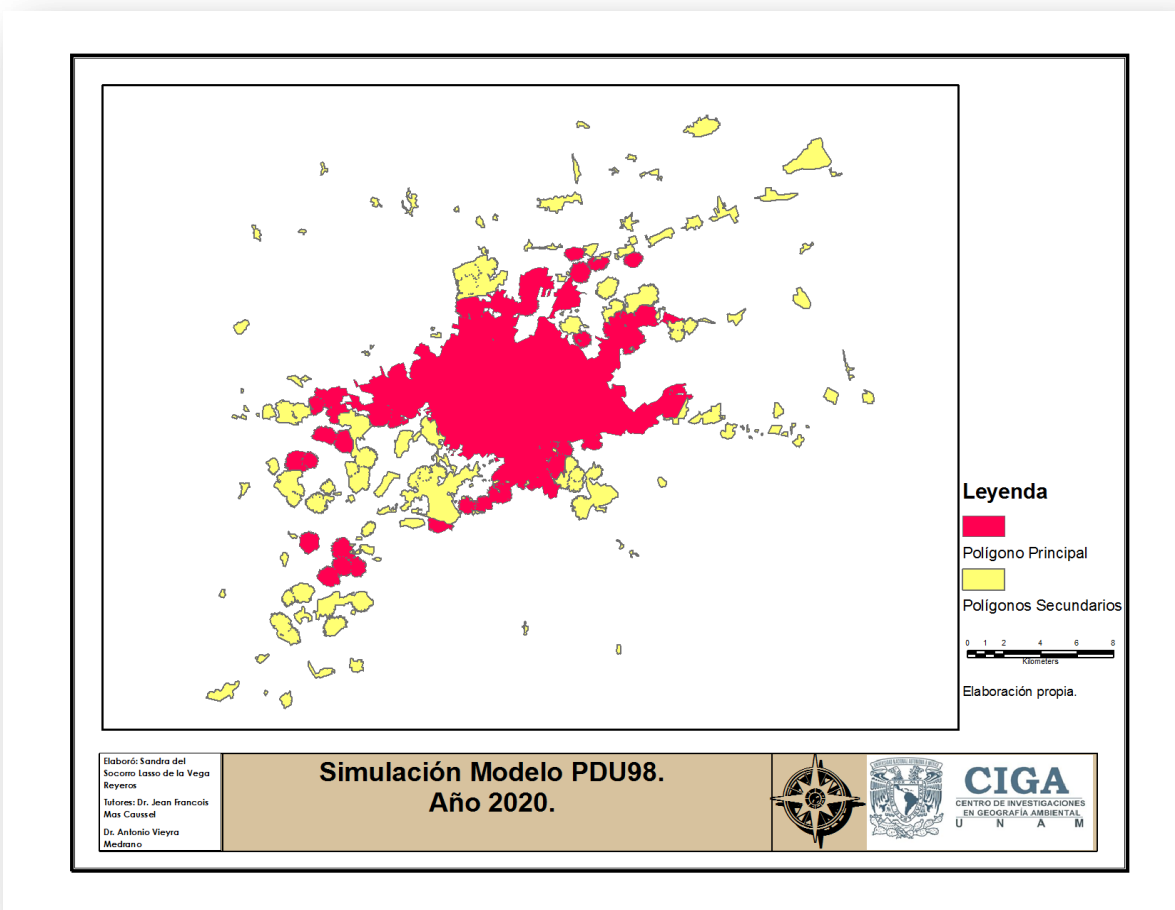


FIGURA 26: MAPA DE SIMULACIÓN ESCENARIO PDU 1998. AÑO 2020
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

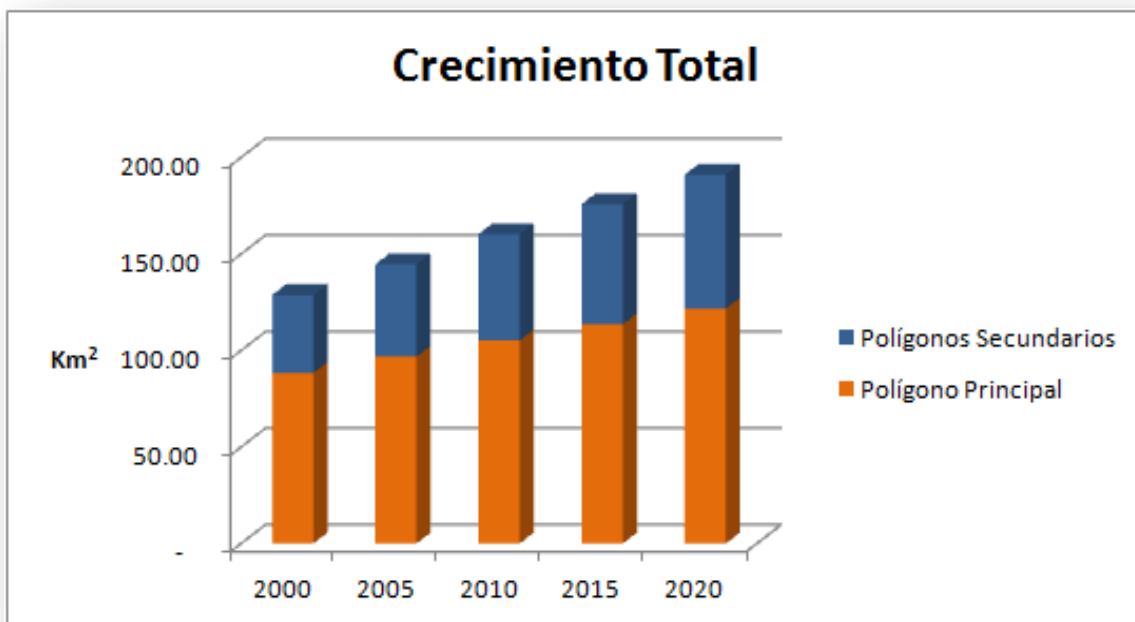


FIGURA 28: GRÁFICA DEL ÁREA DE CRECIMIENTO URBANO TOTAL POR TIPO DE POLÍGONO. "ESCENARIO PDU 1998"

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

El escenario PDU 1998 (Figuras 24-28) también arroja que la ciudad continuará creciendo a un ritmo de desaceleración constante, pues el incremento porcentual de crecimiento para cada período es menor.

Este escenario plantea las probabilidades de crecimiento con la limitante del PDU de 1998, entonces el crecimiento proyectado se observa solamente en las zonas en donde el plan tenía considerado dicho crecimiento.

Escenario "Descentralización"

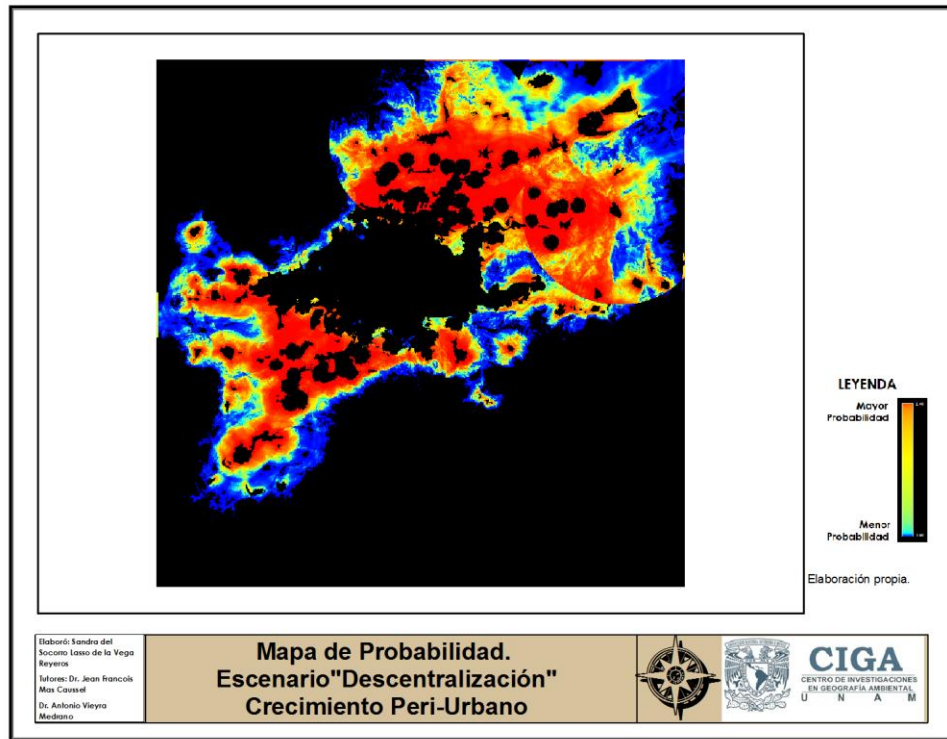


FIGURA 29: MAPA DE PROBABILIDAD. "ESCENARIO DESCENTRALIZACIÓN". CRECIMIENTO PERIURBANO
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

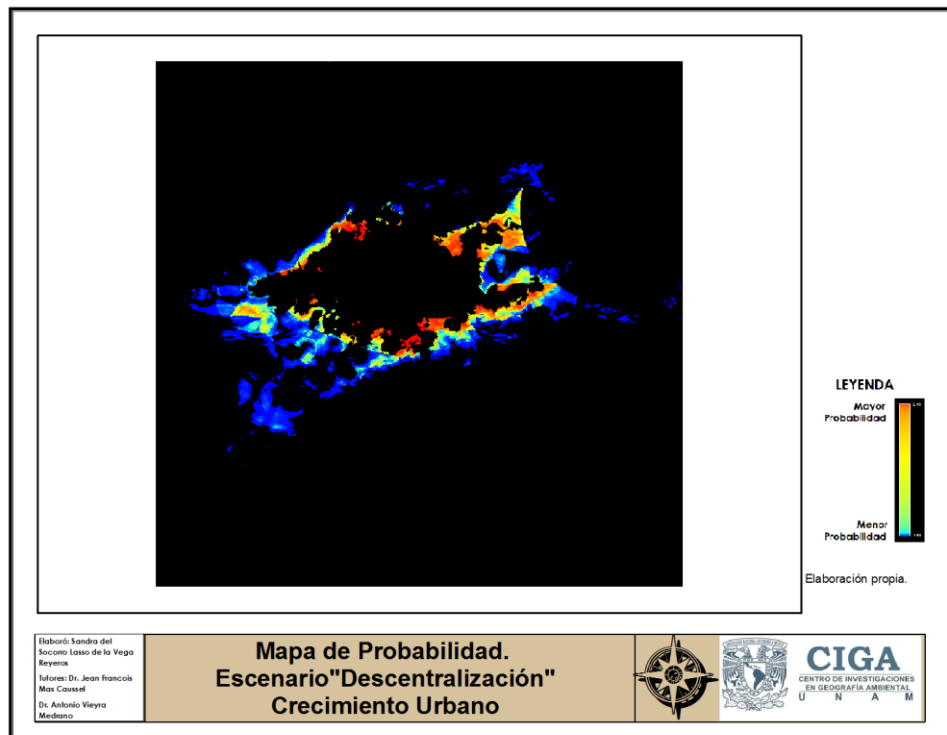


FIGURA 30: MAPA DE PROBABILIDAD. "ESCENARIO DESCENTRALIZACIÓN". CRECIMIENTO URBANO
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

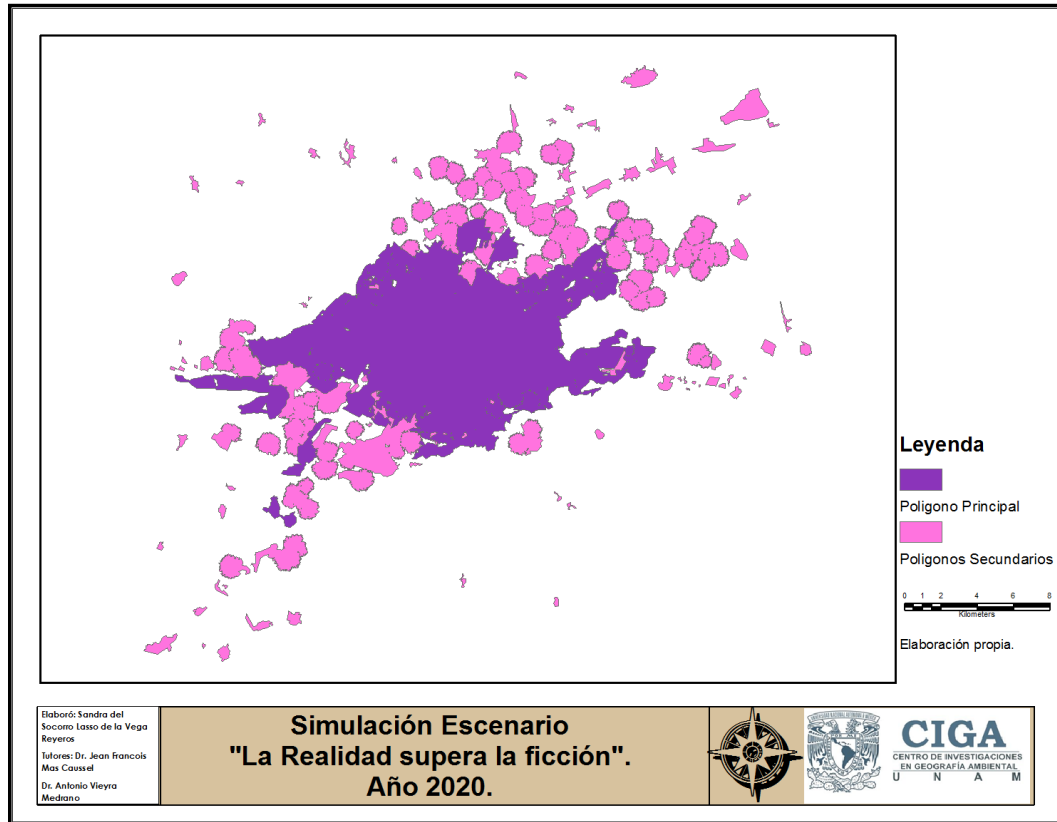


FIGURA 31: MAPA DE SIMULACIÓN, ESCENARIO "DESCENTRALIZACIÓN". AÑO 2020
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CRECIMIENTO PERIURBANO						
	Polígono Principal (km ²)	Incremento Porcentual (%)	Polígonos Secundarios (km ²)	Incremento Porcentual (%)	Crecimiento Total (km ²)	Incremento Porcentual (%)
2000	88.00		40.00		129.00	
2005	103.00	17	59.00	45	162.00	26
2010	118.50	15	77.00	31	195.00	21
2015	134.00	13	95.00	24	229.00	17
2020	149.00	11	113.00	19	262.00	15

FIGURA 32: TABLA DE CRECIMIENTO PERIURBANO. "ESCENARIO DESCENTRALIZACIÓN"
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

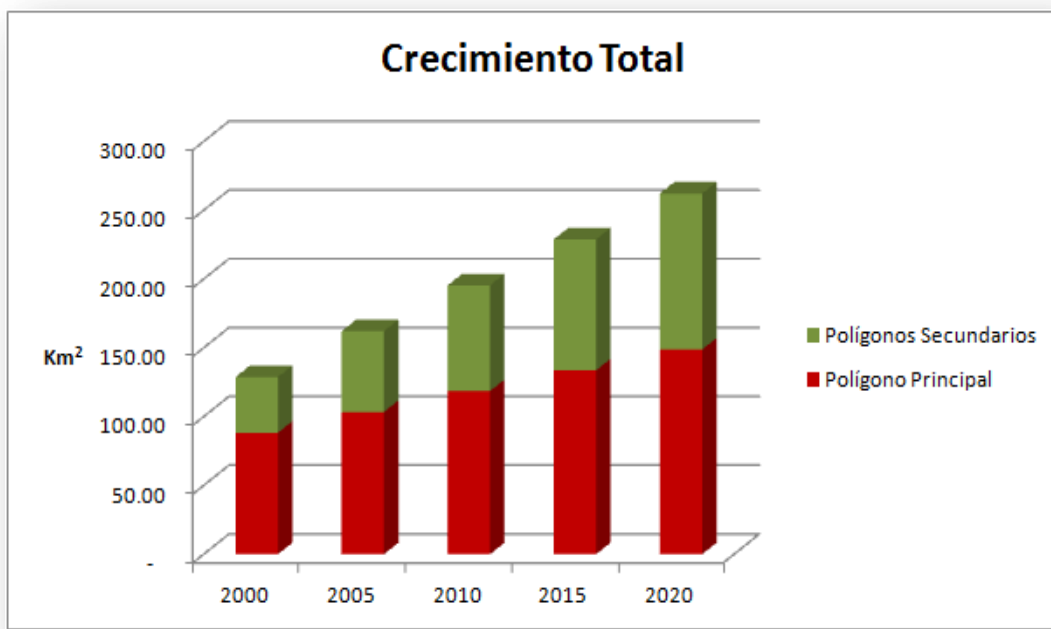


FIGURA 33: GRÁFICA DE ÁREA DE CRECIMIENTO URBANO TOTAL "ESCENARIO DESCENTRALIZACIÓN. POR TIPO DE POLÍGONO
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

El escenario descentralización (Figuras 29-33) arroja que aunque el crecimiento será desacelerado como en los casos anteriores, esta desaceleración sería menor pues los incrementos porcentuales de crecimiento son mayores que en los otros escenarios.

Este escenario plantea las probabilidades de crecimiento en las zonas de descentralización, por lo tanto el crecimiento proyectado se manifiesta hacia los polos de atracción previstos.

Ahora, si se comparan los tres escenarios en una sola gráfica, éstos se ven de la siguiente manera:

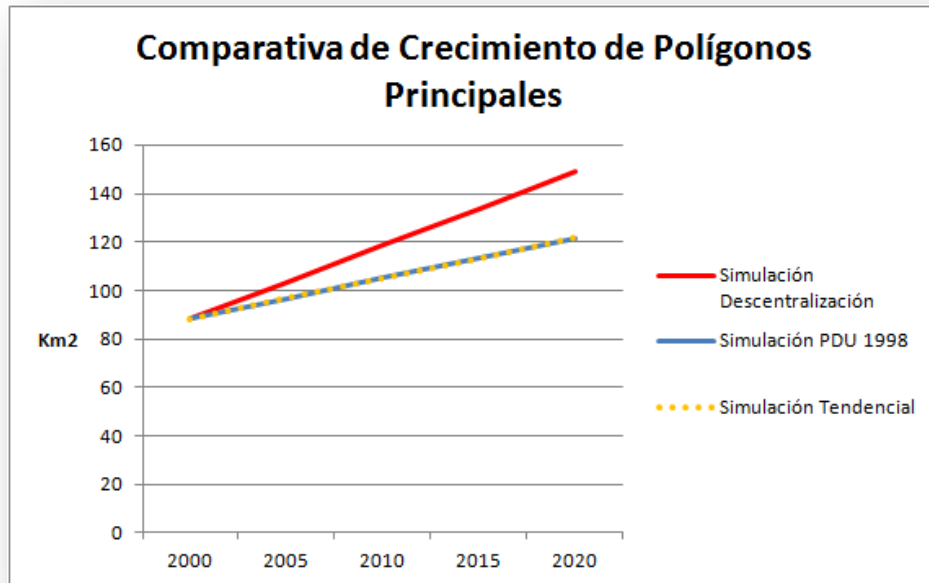


FIGURA 34: GRÁFICA COMPARATIVA DE ESCENARIOS DEL CRECIMIENTO DEL POLÍGONO PRINCIPAL
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

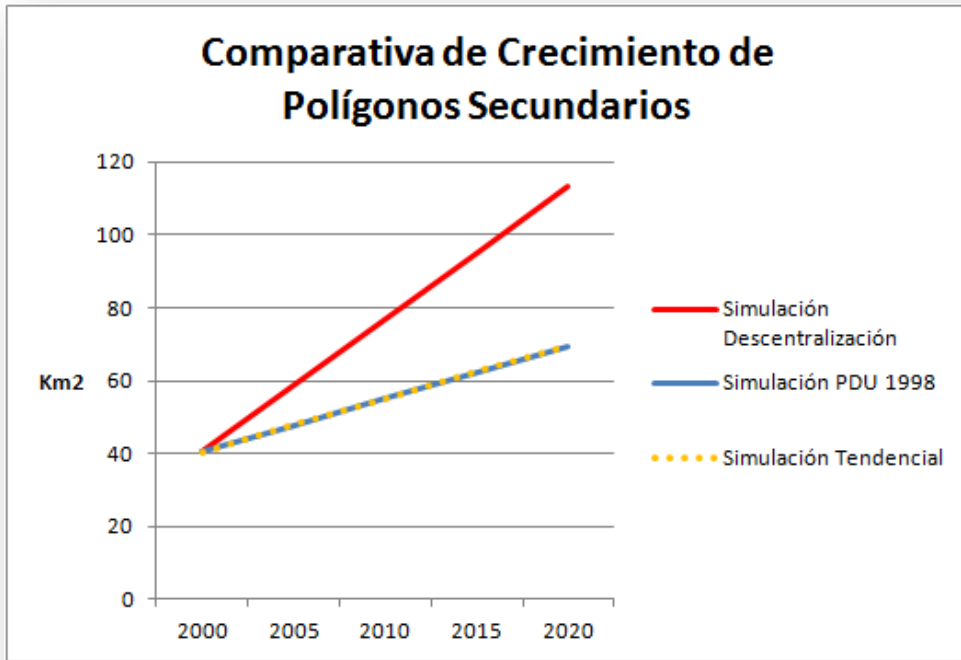


FIGURA 35: GRÁFICA COMPARATIVA DE ESCENARIOS DEL CRECIMIENTO DE LOS POLÍGONOS SECUNDARIOS
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

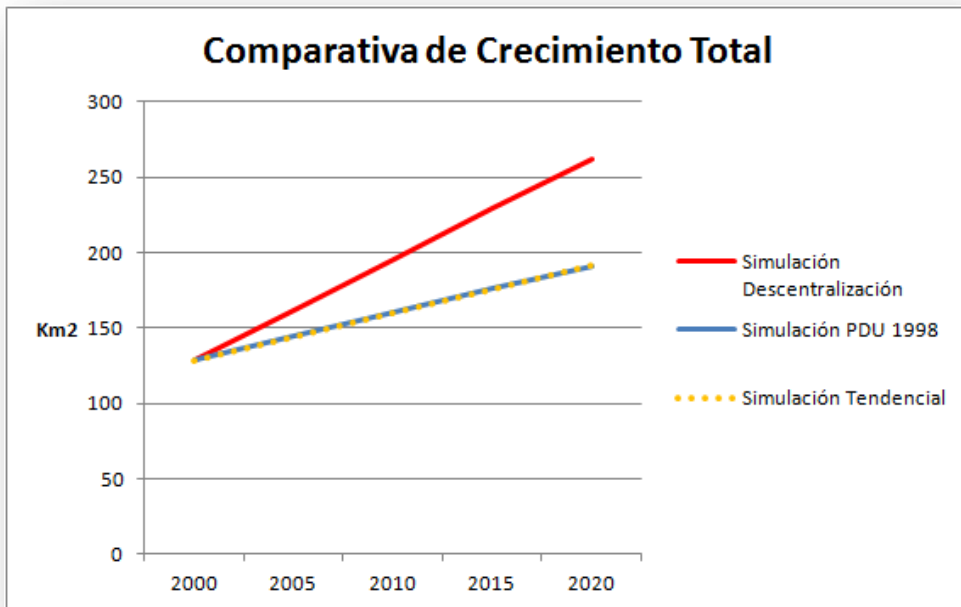


FIGURA 36: GRÁFICA COMPARATIVA DE ESCENARIOS. CRECIMIENTO TOTAL
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Las gráficas muestran como sería el crecimiento en cada uno de los tres escenarios, y se puede observar que, aparentemente los escenarios “PDU 1998” y “Tendencial” son muy semejantes en valores de crecimiento. La línea que se diferencia es la que representa al escenario “Descentralización”.

5.1.3.7 Validación del modelo

Para evaluar la eficiencia del modelo se realizó la prueba de validación para los tres escenarios desarrollados, y para dos lapsos de tiempo diferentes, 5 y 10 años, para compararlos contra los mapas reales de 2005 y 2010, y utilizando distancias de tolerancia de 1 a 95 celdas (una celda tiene aproximadamente 15 m. por lado). “Con base en la ventana de una celda, esta evaluación es “dura”, ya que sólo las coincidencias exactas de los cambios entre los mapas simulado y observado son consideradas como correctas. Al contrario, basados en la ventana más grande (95 celdas equivalen a aproximadamente a 712 m.), la estimación de la coincidencia tolera cambios de posición entre los parches de cambio simulados y observados” (Cuevas y Mas, 2008).

Los resultados obtenidos se muestran a continuación en las siguientes gráficas:

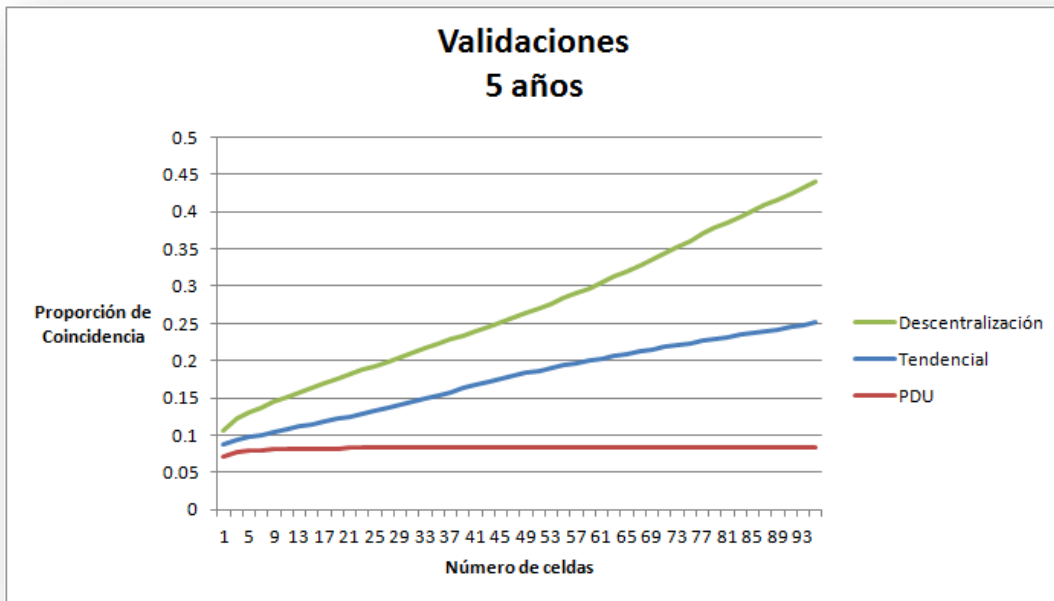


FIGURA 37: GRÁFICA DE VALIDACIÓN DE ESCENARIOS A 5 AÑOS
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Se puede observar en la gráfica comparativa a 5 años (Figura 37), que la coincidencia espacial del “Escenario PDU98” es la menos certera en proporción de similitud, éste es el escenario apegado al Programa de Desarrollo Urbano 1998. La coincidencia del “Escenario Tendencial” (que llega hasta el 0.25) tiene una similitud intermedia, y es el escenario proyectado con la tendencia de calibración (1995-2000), finalmente el “Escenario Descentralización” es el más certero, pues tiene valores de similitud que llegan hasta el 0.43 en coincidencia espacial y de área.

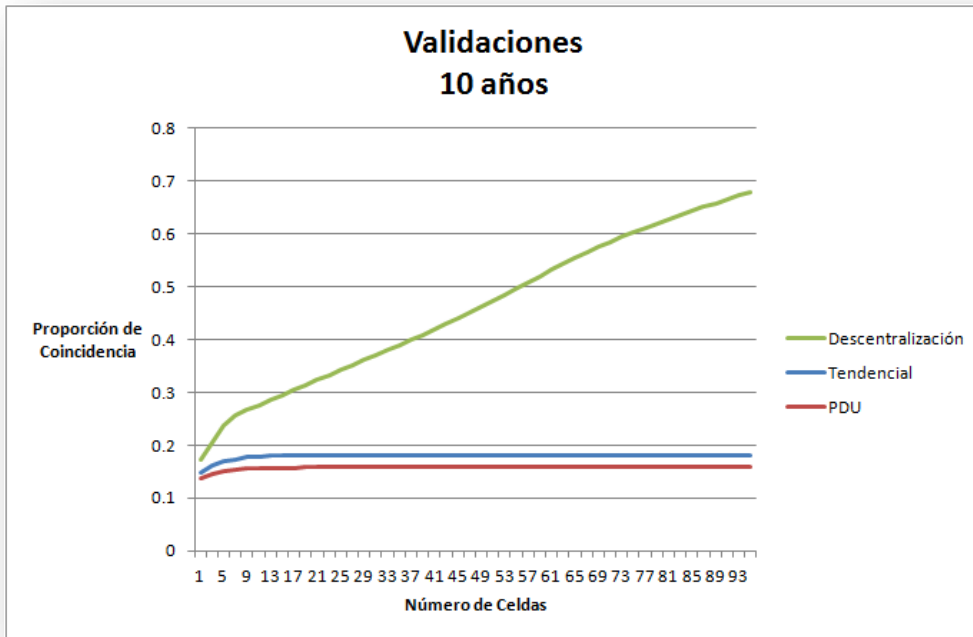


FIGURA 38: GRÁFICA DE VALIDACIÓN DE ESCENARIOS A 10 AÑOS
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

La gráfica comparativa a 10 años (Figura 38) muestra que tanto el “Escenario PDU98” como el “Escenario Tendencial” tienen valores de coincidencia bajos (menores al 0.20) mientras que el “Escenario Descentralización” coincide espacialmente con la realidad hasta el 0.68 tanto espacialmente como en el tamaño de los nuevos polígonos proyectados.

5.2 Discusión

En el siguiente apartado se abarcan las reflexiones que han surgido a raíz de este proceso de análisis.

El Fondo de Población de las Naciones Unidas publica en el 2007 su definición de periurbanización, que expresa como el crecimiento de las ciudades en forma dinámica y desordenada; es a partir de esta definición que se puede comparar el

Programa de Desarrollo Urbano vigente en el período de análisis de este estudio contra el crecimiento real de la ciudad de Morelia, en esta investigación se observa que el patrón de crecimiento si ha sido desordenado, pues la ciudad no sólo irrumpió en las zonas de protección y reserva ecológica planteadas originalmente por el Programa, sino que además utilizó zonas de transición, que tampoco estaban consideradas para crecimiento urbano.

Además, el patrón de crecimiento de la ciudad tiene una clara dirección de expansión, esto es, Noreste-Suroeste, limitado principalmente por la cercanía de los cerros del Quinceo, del lado noroeste y el Punhuato en el sureste, manifiesto además, en las variables que también lo influyen.

Las variables que inciden en el crecimiento de la ciudad son las siguientes:

- Las variables que controlan con mayor intensidad el crecimiento y con las que se observan cambios, son: las zonas habitacionales, las zonas industriales y el polígono principal.
- Por el contrario, la variable que limita el crecimiento, es la de las elevaciones. Las distancias a zonas habitacionales y a vialidades representan el cambio de manera que, a mayor distancia de éstas, la expansión urbana es menor.

Po otra parte, la densidad de población en el crecimiento de la ciudad, influye de forma manifiesta en que, en las zonas con densidades medias se observa mayormente el crecimiento.

Retomando la gráfica comparativa entre crecimiento de la población contra crecimiento de la superficie de la ciudad (Figura 9), se muestra que la modelización se complica por no estar correlacionados los crecimientos, y por lo tanto se ve manifiesta la ineficiencia en los resultados de la validación del modelo para el caso del “Escenario Tendencial”, pues en el período de calibración la ciudad se expandió en un 14%, lo que generó un escenario moderado de

crecimiento y donde en realidad, el crecimiento fue mayor. El “Escenario Descentralización”, se acercó mucho más al crecimiento de la ciudad, como se observó en la realidad.

El “Escenario Tendencial” mostró lo que habría sucedido si la tendencia observada en el período 1995-2000, hubiera continuado (Figuras 22 y 23); esto no se dio así, pues en el año 2000 surgió la política de vivienda del presidente Fox, la cual otorgó la construcción de zonas habitacionales a particulares, y se la retiró a los organismos gubernamentales anteriormente encargados, lo que ocasionó una aceleración en la construcción de fraccionamientos de interés social -bajo, medio y alto- (se entiende como vivienda de interés social, la que se construye en serie, para abatir costos de producción), y un cambio en las tendencias de crecimiento. Este escenario tuvo porcentajes de acierto a 5 años que van del 9% al 25% y del 15% al 18% a 10 años.

Entonces, se ideó el “Escenario Descentralización”, (Figuras 34 y 35), en el cual, como ya se mencionó, se aumentó la tasa de crecimiento y se agregó una variable explicativa: los polos de atracción, que son las cabeceras municipales de los municipios colindantes. Este escenario tiene un mejor desempeño de similitud del 10% al 43% a 5 años y del 17% al 68% a 10 años.

Finalmente, el “Escenario PDU 1998” que es un escenario optimista, (Figuras 28 y 29), resulta en un porcentaje de similitud bajo porque se apega al Programa de Desarrollo Urbano vigente en el período de análisis y por lo tanto, genera un mapa prospectivo de lo que sería la mancha urbana en este período.

Por otra parte, en las gráficas sobrepuestas (Figuras 34, 35 y 36) de los tres escenarios, en donde se comparan los tres escenarios para cada tipo de crecimiento (el crecimiento del polígono principal, el de los polígonos secundarios y el crecimiento total) pareciera que el escenario “PDU 1998” y el escenario “Tendencial” son idénticos. Esto es así pues están generados con las mismas tasas de crecimiento pero se ve la variación al comparar los patrones espaciales de ambos escenarios.

Si se observa detenidamente el crecimiento periurbano en la ciudad de Morelia, se pueden aplicar algunos de los esquemas analizados en otras partes del mundo; Morelia por ser una metrópoli dinámica presenta algunos de estos esquemas. Este crecimiento se observó mas notoriamente a partir del año 2000, año en que, como ya se mencionó, dio inicio la política de vivienda que permitió que particulares fraccionaran y construyeran zonas habitacionales y de infraestructura en las zonas periféricas de la ciudad en donde había grandes extensiones de suelo y a menores precios que en el centro, extensiones de terreno que en algunos casos fueron zonas de transición y en otros fueron zonas rurales (ejidales), lo cual favoreció que las dos tendencias de periurbanización que prevalecen en el mundo se presenten en el crecimiento de la ciudad.

Por un lado, la tendencia que habla de la difusión urbana y la discontinuidad física de la misma (Banzo, 2005), tiene ejemplos evidentes en fraccionamientos como El Trébol y Montaña Monarca que están ubicados en el municipio de Tarímbaro y que son de viviendas para clases sociales medias y medias bajas; así como los fraccionamientos también para clases sociales medias y medias bajas que se encuentran en los municipios de Tarímbaro y Álvaro Obregón; y en Tres Marías que se encuentra al oriente de la ciudad y Altozano al sur de la misma, pero dentro de los límites del municipio, y que tienen secciones de vivienda para clases sociales medias altas y altas, o también obras de equipamiento e infraestructura como centros de trabajo y de diversión, como la zona de hospitales que se encuentra al noreste de la ciudad en los límites de los municipios de Morelia y Charo.

Por otro, la tendencia que habla de la extensión continua de la ciudad y la absorción paulatina de los espacios rurales que la rodean (Ávila, 2009), tiene sus ejemplos en poblaciones como San Nicolás Obispo o Tenencia Morelos (dentro del municipio de Morelia) que por su crecimiento natural se han integrado con la ciudad. Mención aparte merecen las zonas ilegales y sin estructura como la colonia Tierra y Libertad hacia el norte de la ciudad y que actualmente ya está casi

totalmente urbanizada y con infraestructura, pero que en sus inicios fue ilegal o Ciudad Jardín al poniente de la ciudad que sigue siendo ilegal. Es evidente que hay muchas colonias, fraccionamientos y poblaciones que también ejemplifican lo anterior, se utilizaron estos por ser los más claros e identificables.

Por otra parte, observar la segregación geográfica de las zonas habitacionales, que marcadamente crecieron hacia el sur las áreas de vivienda de clase media y media alta y hacia el norte las de clase media baja y baja, de la misma manera que Aguilar y Mateos (2011) lo observaron en la Ciudad de México, en donde notaron rasgos del modelo de segregación, como la persistencia de las clases altas hacia ciertos espacios, y los estratos proletarios y las clases medias hacia otros, lo que pone en evidencia una marcada dispersión y polarización socioeconómica. Este fenómeno no es privativo de la República Mexicana, pues se han observado estos patrones de segregación y dispersión residencial también en el resto de América Latina (Aguilar y Mateos, 2011).

Considerando que uno de los objetivos de esta investigación es la evaluación de los patrones de crecimiento periurbano de la ciudad de Morelia de las últimas dos décadas, se hará referencia al análisis que Borsdorf (2003) hace del crecimiento urbano de la ciudad latinoamericana (Borsdorf, 2003).

El período al que Borsdorf (2003) llama la ciudad fragmentada, es el que nos incumbe directamente, pues está dentro del período de la investigación realizada, pero además ésta fragmentación se pone de manifiesto en el hecho de que, ahora Morelia ya sea considerada una Zona Metropolitana (SEDESOL, CONAPO, INEGI, 2012) al incluir los municipios colindantes de Charo, Tarímbaro y Álvaro Obregón, pero sobre todo, esta fragmentación se hace evidente al observar el crecimiento de la ciudad en la interpretación visual realizada.

La idea original del desarrollo del modelo incluía considerar como variable explicativa un dato socioeconómico: la precariedad. Esta información finalmente no se incluyó debido a que INEGI emite sus censos y conteos con datos inconsistentes entre sí, pero CONAPO a partir del 2005 ha generado su propio índice de marginación, en dos ocasiones, para el 2005 y para el 2010, el cual podría utilizarse. Si para el siguiente quinquenio lo vuelve a difundir, entonces se podría incluir en una posterior investigación, la cual propondría datos más robustos, al contar con mayor información socio-económica. Además, se puede considerar la posibilidad de agregar al modelo, escenarios de crecimiento poblacional, pues estos complementarían la perspectiva social del análisis. Por otra parte, se consideró como una sola variable todos los puntos de equipamiento e infraestructura, pero tal vez sería adecuado separarlos por tipología, pues el análisis podría proporcionar datos sobre puntos de equipamiento que influyen más que otros en el crecimiento, tales como el aeropuerto, hospitales y centros comerciales y educativos.

Otra información que se podría incluir en el modelo es la observación de las tendencias de crecimiento hacia las diferentes coberturas y usos de suelo que rodean a la ciudad y sus localidades circundantes.

Como se mencionó al inicio de esta investigación, el objetivo de la misma fue desarrollar un modelo de crecimiento, con variables y escenarios, no diseñar una tesis sobre periurbanización y sus causas y consecuencias.

5.3 Conclusiones

Tomando como base la investigación realizada, y siguiendo la dirección de sus argumentos, se puede concluir lo siguiente:

El modelo está basado en el desarrollo de tres escenarios paralelos, con particularidades específicas y con la finalidad de observar trayectorias diferentes de crecimiento urbano.

Estos escenarios expresan situaciones distintas al tendencial para considerar las diferentes opciones de crecimiento. Éstos son: el escenario “PDU 1998” y el “Descentralización”, los cuales mostraron dos líneas de crecimiento diferentes: La posibilidad de un crecimiento apegado a los programas de desarrollo urbano, se creó con el escenario “PDU 1998”, y que resultó en el escenario menos acertado; y la alternativa, del crecimiento hacia afuera del polígono central se vio en el “Escenario Descentralización”, el cual se apega a los patrones de las ciudades fragmentadas vigentes en los países de América Latina hoy en día.

Para evaluar los alcances del modelo se hizo un análisis de las gráficas comparativas de las validaciones, con lo que se pudo determinar que el modelo puede alcanzar una eficiencia de casi el 70% si se identifican las variables que están afectando los cambios, variables como las zonas habitacionales, las zonas industriales y el polígono principal, que son zonas en donde se observan cambios; y por el contrario, en las zonas con elevaciones altas, donde no se observan cambios.

Considerando el análisis de Bosdorf (2003) sobre el crecimiento urbano latinoamericano, se ve claramente que la Zona Metropolitana de Morelia está siguiendo el patrón descrito como ciudad fragmentada, pues las zonas periféricas y periurbanas están siendo los nodos de atracción para la construcción de vivienda y fraccionamientos cerrados que no son exclusivamente de vivienda, puesto que tienen zonas comerciales, laborales y escolares integradas en sus proyectos. Lo que se ha visto reforzado por la política de vivienda del año 2000 que favoreció el crecimiento hacia los municipios colindantes.

Debido entonces a que plantea opciones de crecimiento espacial a manera de escenarios (el de la tendencia, el que se apega al P.D.U. 1998 y el que propone polos de desarrollo), este modelo es un instrumento para la toma de decisiones en la planificación urbana de la ciudad de Morelia, útil a nivel municipal o estatal y que puede ser integrado en futuros Planes de Desarrollo Urbano.

Bibliografía

- Secretaría de la Reforma Agraria. (s.f.).
- Aguilar, A. (2006). *Las grandes aglomeraciones y su periferia regional. Experiencias en Latinoamérica y España*. México, D.F.: M.A.Porrúa.
- Aguilar, A., & Escamilla, I. (2011). *Periurbanización y sustentabilidad en grandes ciudades*. México, D. F.: Miguel Ángel Porrúa, librero-editor.
- Aguilar, A., & Mateos, P. (2011). Diferenciación sociodemográfica del espacio urbano de la Ciudad de México. *Eure*, 37(110), 5-30.
- Aguilera-Benavente, F., & Talavera-García, R. (2009). Valoración de escenarios futuros a través de la conectividad del paisaje. *Observatorio Medioambiental*(12), 17-36.
- Aguilera-Benavente, F., Valenzuela-Montes, L., & Bosque-Sendra, J. (2010). Simulación de escenarios futuros en la aglomeración urbana de Granada a través de modelos basados en Autómatas Celulares. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*(54), 271-300.
- Aguilera-Benavente, F., Valenzuela-Montes, L., & Botequilha-Leitão, A. (2011). Landscape metrics in the analysis of urban land use patterns: A case study in a Spanish metropolitan area. *Landscape and Urban Planning*(99), 226-238.
- Almeida, C. (2003). *Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP)*. Brasil.
- Almeida, C., Monteiro, A., Mara, G., Soares-Filo, B., Cerqueira, G., Pennachin, C., & Batty, M. (20 de Febrero de 2005). GIS and remote sensing as tools for the simulation of urban land-use change. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 26, No. 4, págs. 759-774.
- Almeida, C., Monteiro, M., Camara, G., Soares-Filho, B., Cerqueira, G., & Pennachin, C. (20 de Febrero de 2005). GIS and remote sensing as tools for the simulation of urban land-use change. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 26, No. 4, págs. 759-774.
- Ascher, F. (1995). *Métapolis ou l'avenir des villes*. París: Odile Jacob.
- Ávila, G. (2007). *Agua, ciudad y medio ambiente: una visión histórica de Morelia*. Morelia, Mich.: Universidad Autónoma de México, Secretaría de Desarrollo Social y H. Ayuntamiento de Morelia/Observatorio urbano de Morelia.
- Ávila, H. (2001). Ideas y planteamientos teóricos sobre los territorios periurbanos. Las relaciones campo-ciudad en algunos países de Europa y América. (I. d. Geografía, Ed.) *Boletín Investigaciones Geográficas*(Núm. 45), págs. 108-127.

- Banzo, M. (2005). Del espacio al modo de vida. La cuestión periurbana en Europa Occidental: Los casos de Francia y España. En H. Ávila, *Lo Urbano-Rural, ¿Nuevas Expresiones Territoriales?* (págs. 208-216). Cuernavaca, Morelos, México.: Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, U.N.A.M.
- Barredo, J., Demicheli, L., Lavallo, C., Kasanko, M., & McCormick, N. (2004). Modelling future urban scenarios in developing countries: an application case study in Lagos, Nigeria. *Environment and Planning B: Planning and Design*(32), 65-84.
- Barredo, J., Kasanko, M., McCormick, M., & Lavallo, C. (2003). Modelling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through celular automata. *Landscape and Urban Planning*(64), 145-160.
- Barreira-González, P., Aguilera-Benavente, F., & Gómez-Delgado, M. (2012). Propuesta de un análisis de sensibilidad para validar modelos prospectivos de simulación de crecimiento urbano basados en autómatas celulares. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Geofocus)*(12), 303-328.
- Batty, M., & Xie, Y. (1994). From cells to cities. *Environment and Planning B: Planning and Design 21 Supplement*, 31 - 48.
- Batty, M., & Xie, Y. (1997). Possible Urban Automata. En E. Besussi, & A. Cecchini, *Artificial worlds and urban studies* (págs. 153-164). Venezia: DAEST.
- Bazant, J. (2001). Expansión urbana incontrolada en pueblos rurales de la periferia metropolitana. En J. BAZANT S., *Periferias Urbanas. Expansión urbana incontrolada de bajos ingresos y su impacto en el medio ambiente.* (págs. 97-98). México, D.F.: Trillas.
- Benenson, I., & Torrens, P. (2004). *GEOSIMULATION: Automata-based modelling of urban phenomena.* Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Berling-Wolf, S., & Wu, J. (2004). Modelling urban landscape dynamics: A case study in Phoenix, USA. *Urban Ecosystems*(7), 215-240.
- Bonham-Carter, G. (1994). *Geographic Information Systems for Geoscientist. Modelling with GIS.* Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Borsdorf, A. (mayo de 2003). Cómo modelar el desarrollo y la dinámica de la ciudad latinoamericana. *EURE*, 29(86), 37-49.
- Cadène, P. (1990). L'usage des espaces péri-urbains. Une géographie régionale des conflits. *Etudes rurales*, 118-119, 235-267.
- Cadène, P. (1997). Les couronnes périurbaines: des périphéries au coeur des dynamiques urbaines. *Agriculture, forêt et périurbanisation. Rambouillet, La Bergerie Nationale, Département Périurbain*, 16-24.
- Chalas, Y. (2001). *Villes contemporaines.* París: Editions Cercle d'Art.

- Cheng, J., & Masser, I. (2003). Urban growth pattern modelling: a case study of Wuhan city, PR China. *Landscape and Urban Planning*(62), 199-217.
- CONAPO. (2002). *La situación demográfica de México, 2002*. México, D.F.: Consejo Nacional de Población.
- Conolly, P. (1989). *Housing and the state in Mexico*. México: Departamento de Sociología, UAM-A.
- Cuevas, G., & Mas, J. (2008). Land use scenarios: a communication tool with local Communities. En M. P. Camacho, *Modelling Environmental Dynamics* (págs. 223-246). Springer-Verlag.
- Delgado, J. (2003). Transición rural-urbana y oposición campo-ciudad. En A. G. Aguilar, *Urbanización, Cambio Tecnológico y Costo Social. El caso de la región centro de México*. México, D.F.: Miguel Ángel Porrúa, librero-editor.
- Dematteis, G. (1998). Suburbanización y periurbanización. Ciudades anglosajonas y ciudades latinas. *Monclús, J.*, 17-33.
- Dubois-Taine, G., & Chalas, Y. (1997). *La ville émergente*. La Tour d'Aigues: éd. de l'Aube.
- Ducom, E. (2003). La théorie des ceintures limitrophes (fringe belts): discontinuités d'occupation de l'espace sur les franges des villes. *L'information géographique*, vol. 67, núm. 1., 35-44.
- Duhau, E. (1997). La Urbanización Popular en la Ciudad de México. En M. Schteingart, *Pobreza, condiciones de vida y salud en la ciudad de México* (págs. 29-35). México, D.F.: El Colegio de México, A.C.
- Eastman, J. (1985). Cognitive Models and Cartographic Design Research. *The Cartographic Journal*, 22(2), págs. 95-101.
- Eastman, J. (1987). Idrisi (Ver 2). Worcester, MA: Clark University.
- FAO. (1996). Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. *FAO Food and Agriculture Organization forestry paper.*, 130-152.
- Forman, R. (1995). *Land Mosaics: The ecology of Landscapes and regions*. Cambridge: University Press.
- Franco-Sánchez, L. (2012). Crecimiento y expansión urbana en los municipios conurbados del Estado de México e Hidalgo. En T. Serrano, Z. Hernández, & (Coord.), *Estudios demográficos del Estado de Hidalgo. (Cambio social y económico)* (Vol. Tomo 2, págs. 181-202). Pachuca: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Frankhauser, P. (1998). Fractal geometry of urban patterns and their morphogenesis. *Discrete Dynamics in Nature and Society*(2), 127-145.

- García, A., Santé, I., Crecente, R., & Miranda, D. (2011). An analysis of the effect of the stochastic component of urban cellular automata models. *Computers, Environment and Urban Systems*(35), 286-296.
- Gilbert, N., & Troitzsch, K. (2005). *Simulation for the Social Scientist*. Glasgow: Open University Press.
- Gómez-Delgado, M., & Barredo, J. (2005). *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio* (2a. ed.). Paracuellos de Jarama: Ra-Ma.
- H. Ayuntamiento de Morelia. (2013). *Morelia, Suma de voluntades*. Obtenido de <http://www.morelia.gob.mx>
- Hansen, H. (2010). Modelling the future coastal zone urban development as implied by the IPCC SRES and assessing the impact from sea level rise. *Landscape and Urban Planning*(98), 141-149.
- Henriquez, C., & Azócar, G. (2007). Propuesta de modelos predictivos en la planificación territorial y evaluación de impacto ambiental. *Los problemas del mundo actual. Soluciones y alternativas desde la geografía y las ciencias sociales*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Hernández, J. A. (2011). *Inundaciones y precariedad: Adaptación y respuesta en la zona peri-urbana de la ciudad de Morelia, Mich.* Morelia: CIGA, UNAM.
- I.M.D.U.M. (2010). *Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Morelia 2010*. Morelia, Mich.: H. Ayuntamiento de Morelia.
- INEGI. (2010). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx>
- Itami, R. (1994). Simulating spatial dynamics: cellular automata theory. *Landscape and Urban Planning*(30), 27-47.
- Jean, Y., & Calenge, C. (1997). Espaces périurbains: au-delà de la ville et de la campagne? (problématique à partir d'exemples pris dans le Centre-Ouest). *Annales de Géographie, num. 596*, 389-413.
- Larrazábal, A., Gopar-Merino, L., & Vieyra, A. (2014). Expansión urbana y fragmentación de la cubierta de suelo en el periurbano de Morelia. En A. Vieyra, & A. Larrazábal, *Urbanización, Sociedad y Ambiente* (págs. 89-119). Morelia, Mich.: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA-UNAM).
- Li, X., Yang, Q., & Liu, X. (2008). Discovering and evaluating urban signatures for simulating compact development using cellular automata. *Landscape and Urban Planning*(86), 177 – 186.
- Liu, X., & Andersson, C. (2004). Assessing the impact of temporal dynamics on land-use change modeling. *Computers, Environment and Urban Systems, 1-2*(28), 107-124.

- López, E., Bocco, G., Mendoza, M., & Duhau, E. (2001). Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe: A case in Morelia city, Mexico. *Landscape and Urban Planning*, vol. 55, Issue 4, 271-285.
- Maguire, D., Batty, M., & Goodchild, M. (2005). *GIS, spatial analysis and modelling*. Redlands, California: ESRI Press 2005.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. New York: John Wiley & Sons.
- Markov, A. A. (1971). *Extension of the limit theorems of probability theory to a sum of variables connected in a chain*. John Wiley and Sons.
- Mas, J., & Flamenco-Sandoval, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. *GeoTrópico*.
- Mas, J., Kolb, M., Paegelow, M., Camacho-Olmedo, M., & Houet, T. (2014). Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling & Software*, 94-111.
- Méndez, R. (2010). La dimensión urbana del desarrollo territorial: significado actual de las ciudades de tamaño y las periferias metropolitanas. En C. Cornejo, J. Prada, & J. Morán, *Ciudad, Territorio y Paisaje. Reflexiones para un debate interdisciplinar* (págs. 137-154). Madrid: CERSA.
- Meyer, K., & Bähr, J. (2001). Condominios in Greater Santiago de Chile and their impact on the urban structure. *Die Erde*, 132(3), 293-321.
- Ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer. (1997). *Le périurbain*. Dossier bibliographique (thème urbanisme).
- Mitsova, D., Shuster, W., & Wang, X. (2011). A cellular automata model of landcover change to integrate urban growth with open space conservation. *Landscape and Urban Planning*(99), 141-153.
- morelia.com.mx. (2013). *morelia.com.mx*. Obtenido de <http://www.morelia.com.mx/>
- National Research Council of the National Academies. (2013). *Advancing Land Change Modeling: Opportunities and Research*. Washington, D.C.: The National Academies Press.
- O'Sullivan, D., & Torrens, P. (2000). *Cellular models of urban systems*. WP-22. London: Centre for Advanced Spatial Analysis (CASA), University College London.
- Paegelow, M., & Camacho-Olmedo, M. (2005). Possibilities and limits of prospective GIS land cover modelling - a compared case study: Garrotxes (France) and Alta Alpujarra Granadina (Spain). *International Journal of Geographical Information Science*, 19(6), 697-722.
- Paegelow, M., & Camacho-Olmedo, M. (2008). *Modelling environmental dynamics*. Berlin: Springer-Verlag.

- Paniagua, I., Cárdenas, J., & Ramírez, I. (2011). Método Híbrido para la Detección de Cambios en la Cubierta de Suelo en Áreas Naturales Protegidas. *Memorias de la XIX Reunión Nacional SELPER*. Morelia, Mich.
- Paredes, C. (2001). Morelia y su historia, 1er Foro sobre el Centro Histórico de Morelia, Mich. *Morelia y su historia, 1er Foro sobre el Centro Histórico de Morelia, Mich.* Morelia, Mich.: U.M.S.N.H.
- Petrov, L., Lavalle, C., & Kasanko, M. (2009). Urban land use scenarios for a tourist region in Europe: Applying the MOLAND model to Algarve, Portugal. *Landscape and Urban Planning*(92), 10-23.
- Pinson, D., & Thomann, S. (2001). *La maison en ses territoires. De la ville à la ville diffuse*. Paris: L'Harmattan, Villes et entreprises.
- Plata-Rocha, W., Gómez-Delgado, M., & Bosque-Sendra, J. (2011). Simulating urban growth scenarios using GIS and Multicriteria Evaluation techniques. Case study: Madrid Region, Spain. *Environment and Planning B. Planning and design*, 38(6), 1012-1031.
- Prost, B. (2001). Quel périurbain aujourd'hui? *Géocarrefour*, vol. 76, núm. 4, 283-288.
- Quiróz, Y. (2009). *Modelo Dinámico de Cambio de Cobertura y Uso de Suelo en una Zona de Transición Urbano-Rural, entre la ciudad de Morelia y el ejido Jesús del Monte*. Morelia, Mich., México.: CIGA, U.N.A.M.
- RAE. (2011). *Diccionario de la Lengua Española (22a. Edición)*. Recuperado el 29 de Marzo de 2011, de Real Academia Española: <http://www.rae.es/rae.html>
- RAE. (2011). *Diccionario de la Lengua Española (22a. Edición)*. Recuperado el 1 de Agosto de 2013, de Real Academia Española: <http://www.rae.es/rae.html>
- Real Academia de la Lengua. (2011). *Real Academia de la Lengua*. Recuperado el 29 de Marzo de 2011, de <http://www.rae.es/rae.html>
- Rosete, F. A. (2008). *Modelo Predictivo de Cambio de Uso de Suelo en la Península de Baja California, México*. Morelia, Mich., México: CIGA, U.N.A.M.
- Rossetti, L., Almeida, C., & Pinto, S. (2013). Análise de mudanças no uso do solo urbano e rural com a aplicação de modelagem dinâmica espacial. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013*, (págs. 6316-6323). Foz do Iguaçu.
- Santé, I., García, A., Miranda, D., & Crescente, R. (2010). Cellular autómatas models for the simulation of real world urban processes: A review and analysis. *Landscape and Urban Planning*(96), 108-122.
- SEDESOL, CONAPO, INEGI. (2012). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010*. México, D.F., Aguascalientes, Ags.: SEDESOL, CONAPO, INEGI.

- Soares-Filho, B. (1998). *Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica*. Sao Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Soares-Filho, B., Pennachin, C., & Cerqueira, G. (2002). DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*, 154(3), 217 – 235.
- Soares-Filho, B., Rodrigues, H., & Costa, W. (2009). *Modelamiento de Dinámica Ambiental con Dinamica EGO*. Obtenido de Centro de Sensoriamento Remoto/Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brazil: <http://www.csr.ufmg.br/dinamica/>
- Torrens, P. (2000). *How cellular models of urban systems work*. London: Centre for Advanced Spatial Analysis (CASA), University College London.
- UNESCO. (1999). *Ciudades intermedias y urbanización mundial*. Lleida, España: Ajuntament de Lleida, UNESCO, UIA, Ministerio de Asuntos Exteriores.
- UNFPA. (2007). *Estado de la población mundial 2007. Liberar el potencial del crecimiento urbano*. Nueva York: Fondo de Población de las Naciones Unidas.
- Valette, E. (2003). *Pour une approche géographique de l'innovation sociale. L'exemple des territoires ruraux périurbains de la garrigue nord-montpelliéraine*. París: Université Denis Diderot, París VII.
- Vargas, U. G. (2008). *Urbanización y configuración territorial en la región de Valladolid-Morelia "1541-1991"*. Morelia, Mich.: Morevallado Editores.
- Verburg, P., Schot, P., Dijk, M., & Veldkam, A. (2004). Land Use change modeling: current practice and research priorities. *Geojournal*(61), 309-324.
- Vieyra, A., & Larrazabal, A. (2009). *Urbanización y Precariedad Urbana en la Ciudad de Morelia, Mich.* Ponencia, XII Encuentro de Geógrafos de América Latina, Montevideo.
- White, R., Engelen, G., & Uljee, I. (1997). The use of constrained cellular automata for high resolution modelling of urban land use dynamics. *Environment and Planning B: Planning and Design*(24), 323-343.