



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales

Tesis

**Vulnerabilidad de la población ante fenómenos naturales
extremos en Morelia, Michoacán.**

Que presenta para obtener el grado de:

Doctora en Ciencias en Desarrollo Regional

M.C.C.E. Liliana Aguilar Armendáriz

Zoe Tamar Infante Jiménez
Doctor en Ciencias del Desarrollo Regional

Alejandro N. Martínez García
Doctor en Ciencias de la Complejidad

Morelia, Michoacán, Agosto de 2014

Dedicatoria

A Dios.

A mis hijos: Angel, Max y José Miguel, quienes me enseñan cada día las mejores lecciones de la vida. Ustedes mis amores, son el motor más grande de mi existir.

Agradecimientos

A mi madre, la hermosa plataforma que me ha impulsado cada día a ser siempre mejor. Su ejemplo y fortaleza fueron importantes contribuciones a la realización de este trabajo. Sin ella, esta encomienda no hubiera podido ser posible.

A mi esposo, por su apoyo incondicional en la realización de mis estudios doctorales y sus prácticas contribuciones al presente documento. Sin duda su visión aclaró muchas veces el panorama.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme el apoyo económico para realizar mis estudios doctorales.

Agradezco a todas las personas y organizaciones que me facilitaron sus testimonios y documentación cuyas valiosas aportaciones hicieron posible la presente tesis doctoral no habría sido posible. En especial a mis asesores el Dr. Zoe Tamar Infante Jiménez y al Dr. Alejandro Nicolás Martínez García por el ánimo que me brindaron en todo momento, sus consejos, conocimientos y experiencias que han sido la base fundamental del presente trabajo.

Al Director del Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y a todo el personal docente y administrativo de dicha institución por todo su apoyo y colaboración.

A los integrantes del H. Jurado Doctoral: Dr. Jorge Víctor Alcaraz Vera, Dr. Carlos Francisco Ortiz Paniagua Dr. Casimiro Leco Tomás quienes contribuyeron con sus acertadas observaciones al presente trabajo. Al Dr. Alberto Gómez-Tagle Rojas cuyo conocimiento ayudó en diferentes etapas del trabajo a un mayor entendimiento de la vulnerabilidad en la región. Al Dr. Eleazar Arreygue Rocha por el apoyo ofrecido en la obtención de material bibliográfico que permitió mejorar el contenido del trabajo. Al Ing. Sergio Ríos Rojas por la facilitación del atlas municipal de riesgos que fue pieza fundamental para la elaboración de la presente investigación.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, al Instituto Nacional de Estadística y Geografía que a través de sus asesores brindaron importante ayuda al entendimiento de la información estadística que publican, resultando en un mejor uso de sus recursos.

Contenido

Índice de tablas	V
Índice de gráficas.....	VI
Abreviaturas.....	VII
Glosario de términos	IX
Resumen	XII
Abstract	XIII
Introducción.....	1
Fundamentos de la investigación.....	4
Resumen capitular	6
CAPITULO I. El desarrollo regional y la vulnerabilidad ante fenómenos naturales extremos	8
1.1. Consideraciones básicas sobre el desarrollo regional.....	8
1.2 El desarrollo humano como base del desarrollo regional.....	12
1.3. La vulnerabilidad y el desarrollo regional	14
CAPITULO II. La vulnerabilidad y los sistemas complejos coevolutivos	20
2.1. La complejidad de la vulnerabilidad.....	20
2.2. Los sistemas complejos coevolutivos.....	24
2.2.1. Modelización y simulación de los SCCes	26
CAPITULO III. Generalidades de la ciudad de Morelia, Michoacán	29
3.1. Características del municipio de Morelia, Michoacán	29
3.2. Las amenazas en la región.....	31
3.2.1. Fallas tectónicas que amenazan la ciudad	31
3.2.2. Inundaciones	33
3.2.3. Sequías	35
3.3. Documentos oficiales sobre amenazas	36
CAPITULO IV. Estudio de la ciudad de Morelia	38
4.1. Modelación de los Sistemas Complejos Coevolutivos de interés	38
4.1.1 Componentes de los meta-atributos <i>Aptitud y Flexibilidad</i>	40
4.2. Los agentes y su dinámica coevolutiva	44
4.2.1. Agentes del sistema población.....	44

4.2.2. Agentes del sub-sistema <i>Entidades gubernamentales</i>	52
4.2.3. El sub-sistema <i>ecosistemas</i>	53
4.3. La modelación de la vulnerabilidad.....	53
4.3.1. Atributos y comportamiento de los Agentes	55
4.4. Modelo verbal y diagramático de la dinámica co-evolutiva	61
4.4.1. Cálculo de la <i>aptitud</i> y la <i>flexibilidad</i>	64
4.4.2. Reglas de decisión	65
4.4.3. Algoritmo de posicionamiento del agente <i>población</i>	67
4.4.4. Clasificación de los atributos: tipo de contribución al meta-atributo <i>aptitud</i>	68
4.4.5. Clasificación de los atributos: tipo de contribución al meta-atributo <i>flexibilidad</i>	69
CAPITULO V. Resultados de la modelación – simulación de los sistemas de interés.....	71
5.1. El estado actual de la vulnerabilidad en la ciudad de Morelia, Michoacán.....	71
5.2. Simulación basada en agentes.	72
5.2.1. Escenarios.....	74
5.3. Atractor	85
5.4. Puntos de palanca	85
CAPITULO IV. Propuestas para disminuir el nivel de vulnerabilidad ante eventos extremos en Morelia, Michoacán.....	88
Conclusiones	91
Futuras líneas de investigación	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
ANEXOS.....	105

Índice de tablas

Tabla 1. Población Económicamente Activa (PEA) de 12 años o más por sector de actividad.....	30
Tabla 2. Crecimiento Poblacional del Municipio de Morelia	30
Tabla 3. Subsistemas.	40
Tabla 4. Distribución porcentual de la población por estrato económico de Morelia, Michoacán 2010	53
Tabla 5. Población con ingreso inferior a la línea de bienestar y línea de bienestar mínimo en Morelia, Michoacán, 2010.	58
Tabla 6. Población Económicamente Activa sin grados aprobados en carreras, 2010.	58
Tabla 7. Distribución porcentual de la población activamente ocupada por rama de actividad económica en Morelia.....	59
Tabla 8. Población con carencia por calidad y espacios de la vivienda en Morelia.	59
Tabla 9. Contribución de los atributos al meta atributo <i>Aptitud</i>	69
Tabla 10. Contribuciones de los atributos al meta atributo <i>Flexibilidad</i>	70

Índice de gráficas

Gráfica 1. Áreas inundables de la Ciudad de Morelia	36
Gráfica 2. Dinámica de la vulnerabilidad.....	39
Gráfica 3. Diagrama de comportamiento de los agentes. <i>Ocupación</i>	47
Gráfica 4. Diagrama de comportamiento de los agentes. <i>Salud</i>	49
Gráfica 5. Diagrama de Comportamiento de los Agentes de Población. <i>Vivienda</i>	51
Gráfica 6. Diagrama de Comportamiento de los Agentes de Población. <i>Educación</i>	54
Gráfica 7. Heurística de los Ecosistemas.	56
Gráfica 8. Heurística de la cual resulta la dinámica de los agentes del sistema <i>Población</i>	63
Gráfica 9. Niveles de vulnerabilidad en Morelia, Michoacán.	73
Gráfica 10. Interfaz de la Simulación.....	74
Gráfica 11. Escenario 1.....	75
Gráfica 12. Comportamiento de los agentes en el tiempo. Escenario 1.....	76
Gráfica 13. Escenario 2.....	77
Gráfica 14. Dinámica evolutiva de los agentes. Escenario 2	77
Gráfica 15. Escenario 3.....	78
Gráfica 16. Dinámica evolutiva de los agentes. Escenario 3.....	79
Gráfica 17. Escenario 4.....	80
Gráfica 18. Dinámica evolutiva de la población. Escenario 4.....	80
Gráfica 19. Escenario 5.....	81
Gráfica 20. Dinámica evolutiva de los agentes. Escenario 5.....	82
Gráfica 21. Escenario 6.....	83
Gráfica 22. Dinámica evolutiva de los agentes. Escenario 6.....	83
Gráfica 23. Escenario 7.....	84
Gráfica 24. Dinámica evolutiva de los agentes. Escenario 7	85

Abreviaturas

AMGR	Área Metropolitana de Gran Resistencia.
ARM	Atlas de Riesgo de Morelia.
BID	Banco Interamericano de Desarrollo.
CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres.
CICC	Comisión Intersecretarial de Cambio Climático.
CONAPO	Consejo Nacional de Población.
CONEVAL	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social.
EC	Ecosistemas.
EG	Entidades Gubernamentales.
ENIGH	Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares.
GFDRR	Global Facility for Disaster Reduction and Recovery.
IDH	Índice de Desarrollo Humano.
IFRC	International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies.
IMTA	Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua.
INAFED	Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal.
IPC	Índice de Percepción de Corrupción.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change.
IRD	Índice de Riesgo de Desastres.
NIPS	Sistemas Neuronales de Procesado de la Información.
OCDE	Organización Económica para la Cooperación y el Desarrollo.
PASPRAH	Programa de Apoyo para la Regularización de Asentamientos Humanos.
PDUCPM	Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Morelia.
PFHM	Plan de Fenómenos Hidrometeorológicos del Estado de Michoacán.

PMD	Países Menos Desarrollados.
PNUD	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.
PVD	Países en Vías de Desarrollo.
SDI	Slum Dwellers International.
SIG	Sistemas de Información Geográfico.
SNIM	Sistema Nacional de Información Municipal.
TGS	Teoría General de Sistemas.
UNCED	United Nations Conference on Environment and Development.
UNU-EHS	United Nations University, Institute for Environment and Human Security.

Glosario de términos

Amenazas: Eventos a los que una población está expuesta y que puede ocasionar impactos negativos en la salud, la propiedad, los ecosistemas, así como trastornos económicos y sociales. De acuerdo a la terminología del *United Nations International Strategy for Disaster Reduction* (UNISDR, 2009), los eventos pueden dividirse en:

- a) **Biológicos:** Proceso o fenómeno que se traslada por medio de vectores biológicos (v.gr.: exposición a microorganismos patógenos, toxinas y sustancias radioactivas) que pueden ocasionar daños a la salud, a la propiedad, a los medios de sustento, al suministro de servicios, trastornos económicos y sociales e incluso la muerte.
- b) **Geológicos:** Proceso o fenómeno geológico que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos. En este tipo de amenazas se incluyen sismos, terremotos, actividades y emisiones volcánicas, movimiento de masas, aludes, desprendimiento de rocas, derrumbes en superficies, corrientes de barro o escombros.
- c) **Hidrometeorológicos:** Proceso o fenómeno de origen atmosférico, hidrológico u oceanográfico que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos en la salud, en la propiedad, en los medios de sustento, al suministro de servicios o de índole económica y social. En este tipo de amenazas se incluyen ciclones tropicales, tempestades, granizadas, tornados, tormentas de nieve, fuertes nevadas, avalanchas, marejadas, inundaciones, sequías, olas de calor y frío. Las amenazas meteorológicas pueden constituir un elemento de otras amenazas tales como aludes, plagas, incendios forestales o epidemias.
- d) **Tecnológicos:** Amenaza que se origina por condiciones tecnológicas o industriales, tales como accidentes, procedimientos peligrosos, fallas en infraestructura o actividades humanas específicas que pueden ocasionar muerte, lesiones o daños en la salud, en la propiedad, los medios de subsistencia o impactos de índole económica, ecológica o social.
- e) **Económicas:** Amenaza que resulta de las recesiones económicas y produce trastornos económicos y sociales.

Capacidad de hacer frente (*coping capacity*): Recursos disponibles tangibles e intangibles, tales como materiales y planes o estrategias individuales o vecinales ante amenazas, en una comunidad para reducir los efectos de un desastre (UNISDR, 2009).

Capacidad: Combinación de todos los recursos disponibles dentro de una sociedad o comunidad para lograr objetivos específicos. Las capacidades pueden traducirse en infraestructura, organización o relaciones sociales (UNISDR, 2009).

Desastre: Un trastorno serio del funcionamiento de una comunidad que ocasiona daños importantes a la vida de la población, su infraestructura física, económica y ecológica que exceden las capacidades de la misma para enfrentar tal situación (UNISDR, 2009).

Dimensión ambiental: Componente de la vulnerabilidad que enmarca la base biofísica de la vida humana. De acuerdo al marco conceptual BBC (ver sección 1.3.1), los ecosistemas pueden entenderse como el origen de las amenazas por un lado, y como vulnerable en sí mismo ante los posibles eventos climatológicos, por el otro (Birkmann, 2006).

Dimensión económica: Componente de la vulnerabilidad que hace referencia a los factores de índole monetaria de una población: nivel de ingreso, tipo de empleo, tipo de zona (rural o urbana), dependencia social, seguridad alimentaria, servicios médicos y tipo de pertenencia de la propiedad (Cutter *et al.*, 2003; *International Federation of Red Cross IFRC* 2010; Cardona 2005; *The Heinz Center*, 2002; Pandey *et al.*, 2010; Buch y Turcios 2003; Boli *et al.*, 2010; Hernández 2010; PNUD 2004).

Dimensión social: Componente de la vulnerabilidad que engloba aspectos de carácter social-institucional de una comunidad: estructuras familiares, razas y etnias, nivel de educación, mecanismos de apoyo u organización social, población con necesidades especiales, género, administración de la crisis, violencia urbana, gobernanza y salud, cultura, creencias, actitudes, (Cutter *et al.*, 2003; IFRC 2010, Heinz Center for Science, Economics, and the Environment 2002).

Medios de sustento: Medios para ganarse la vida. El concepto abarca la capacidad de hacerse de un medio para ganarse la vida, ya sean bienes tangibles o intangibles. De acuerdo al marco conceptual de los medios de vida sustentables, existen cinco activos de medios de sustento: capital humano, capital natural, capital financiero, capital físico y capital social (Birkmann, 2006).

Medio Ambiente: Todo aquello que el que toma decisiones no puede controlar (Heylighen, 1999).

Mitigación: Disminución o limitación de los impactos negativos de las amenazas y los desastres conexos. Algunas de las prácticas de mitigación incluyen medidas de ingeniería, políticas ecológicas y sensibilización al tema de las amenazas latentes que enfrenta la sociedad (UNISDR, 2009).

Prevención: Recursos que permiten a la población evadir los impactos negativos de las amenazas y desastres conexos. En estos recursos se incluyen medidas de infraestructura como muros de contención, reglamentaciones sobre el uso del suelo o diseños de ingeniería sísmica (UNISDR, 2009).

Recuperación: La restauración y el mejoramiento, cuando sea necesario, de los planteles, instalaciones, medios de sustento y condiciones de vida de las comunidades afectadas por desastres, lo que incluye esfuerzos para reducir los factores del riesgo de desastres (UNISDR, 2009).

Resiliencia: Capacidad de un sistema de mantener sus funciones básicas y estructuras en tiempos de impactos y perturbaciones del ambiente (UNISDR, 2009).

Respuesta: Suministro de servicios de prevención por parte de instituciones públicas o privadas antes de la ocurrencia de un desastre y de asistencia pública (servicios de salud, albergue, alimentación) durante o después de la presencia del mismo (Birkmann, 2005).

Riesgo de desastre: Las posibles pérdidas que ocasionaría un desastre. El concepto abarca dimensiones como la humana, la física, los medios de sustento, los bienes y los servicios que puedan resultar difíciles de medir. Para esto, es importante tomar en cuenta las amenazas latentes en conjunción con los patrones de desarrollo y población (UNIDR, 2009).

Riesgo: Probabilidad de la combinación de una amenaza y una vulnerabilidad con sus consecuencias negativas (UNISDR, 2009).

Vulnerabilidad: proceso resultante de la dinámica coevolutiva entre las dimensiones social, económica y ecológica resultando en una población susceptible a desastres ante amenazas climatológicas.

Resumen

En la presente tesis se modeló y simuló la vulnerabilidad de la población ante eventos climatológicos extremos en la ciudad de Morelia aplicando el enfoque de los sistemas complejos coevolutivos (Martínez-García, 2010) dada su naturaleza dinámica, global y multidisciplinaria con el fin de entender el fenómeno de estudio en su naturaleza compleja. Se diseñaron una escala y conjuntos de *atributos* para clasificar los grados de vulnerabilidad de la población de interés aplicando herramientas de modelación-simulación basada en agentes. Se encontró que la población de la ciudad es altamente vulnerable en el subsistema *ocupación* con un valor de 0.80, en el subsistema *salud* se determinó un nivel de vulnerabilidad de 0.65, en *vivienda* el nivel de vulnerabilidad encontrado es bajo con un valor de 0.15, en *educación* el nivel de vulnerabilidad es alto con un valor de 0.78. El nivel global de vulnerabilidad del municipio es de 0.59 que indica un nivel medio-alto. A partir de combinaciones (simulación) de valores de atributos se obtuvieron siete escenarios con características relevantes para una predicción limitada por la complejidad del sistema de interés. Los escenarios indican que siendo Morelia un municipio con importantes crecimientos poblacionales y altos niveles de vulnerabilidad en los subsistemas educación, ocupación y salud, las entidades gubernamentales deben incrementar los esfuerzos para mejorar los niveles educativos de la población, así como con medidas de alivio de pobreza que permitan mejorar los niveles de ingresos de la población.

Palabras clave: vulnerabilidad, fenómenos, naturales, sistemas, complejos, coevolutivos.

Abstract

This study models and simulates the vulnerability to extreme climatological events of the population of the city of Morelia, applying the complex coevolutionary system approach (Martinez-Garcia, 2010) given the system of interest's dynamic, global and multidisciplinary nature. Both a scale and sets of attributes were defined to classify the degrees of vulnerability of the system of interest. Agent-based modelling and simulation techniques (ABMS) were applied. It was found that the population of the city has a very high level of vulnerable on the subsystem *occupation* (0.80); the subsystem *health* shows a high level of vulnerability (0.65); in the subsystem *dwelling* the level of vulnerability found was low (0.15); on the subsystem education the level of vulnerability found was also high (0.78). The overall level of vulnerability of the population of Morelia (0.59) was found as medium-high. From the simulation were obtained eleven scenarios, which indicate the governmental entities should increase their efforts to improve the educational levels of the population, alleviate poverty, and reduce its vulnerability.

Key words: vulnerability, complex, coevolutionary, systems.

Introducción

En las últimas décadas, a nivel mundial se ha presenciado el incremento de eventos climatológicos extremos (v.gr. el huracán Mitch en 1998, el tsunami de Indonesia en 2004, el huracán Katrina en 2005, los terremotos de Haití y Chile en 2010). En las últimas décadas el número de desastres se ha triplicado y se han sextuplicado las pérdidas económicas (Bogardi, 2006). El municipio de Morelia presenta recurrentes inundaciones en zonas específicas de la ciudad y se ha observado un incremento en la intensidad de las mismas, además de fenómenos sismológicos de baja magnitud en los últimos años que han propiciado algunos incidentes en la ciudad, así como fenómenos hidrometeorológicos como la tormenta severa en 2003 que provocó serios daños en algunos polígonos (Corona, 2009).

Ante la presencia de este tipo de fenómenos, y el incremento de la recurrencia y la intensidad en la que se presentan, es necesario comprender los factores que intervienen en la generación de un desastre para su prevención. De acuerdo al Foro Económico Mundial (FEM) estos eventos continuarán la senda del incremento en su recurrencia e intensidad dado el notable fracaso en la adaptación al cambio climático, el incremento de los niveles de emisión de los gases de efecto invernadero y la mala administración de los recursos hídricos y de la urbanización (FEM, 2013).

Los factores que intervienen en la ocurrencia de fenómenos extremos estuvo históricamente ligado a una explicación religiosa en la que los dioses eran los generadores de las condiciones climáticas, ya fueran buenas o malas y de sus consecuencias (Reyna, 2001). En el siglo XVII, el cientifismo racionalista impulsó la creencia de que los fenómenos tenían su origen en la naturaleza (Rodríguez, 2001). Bajo esta concepción, los trabajos científicos se enfocaron en entender los fenómenos sismológicos, hidrometeorológicos y biológicos sin incorporar el elemento social (Reyna, 2001).

No fue sino hasta la mitad del siglo XX que se empezó a considerar el factor humano como una de las principales fuentes de desastre. En esa conceptualización, se entiende que las relaciones en las sociedades pueden generar vulnerabilidad. Además, la presencia humana en un embate es la que determina la ocurrencia de un desastre, es decir, sin seres humanos la

presencia de una amenaza no produce desastres (Reyna, 2001). Así, tras la irrupción de un fenómeno extremo, la vulnerabilidad de una sociedad es un componente determinante de la magnitud de sus consecuencias. Esta vulnerabilidad se construye a través de las relaciones entre los individuos de una sociedad, el tipo de instituciones que de ellas emanan y que son moldeadas a través de rasgos culturales y características sociales como el nivel educativo y de ingreso de la población.

De esta manera, el desarrollo de una sociedad puede generar condiciones de vulnerabilidad: el tipo de asentamiento, la calidad de las edificaciones, la calidad de vida de la población y su educación, entre otras. Por ejemplo, el asentamiento de poblaciones en zonas inundables las vuelve vulnerables ante las lluvias, lo que aunado a condiciones de pobreza genera condiciones propicias para los desastres y en algunas ocasiones en forma recurrente.

En Morelia, Michoacán, por ejemplo, la rectificación del río Chiquito en la década de 1930 resultante de la planeación urbana de esa época, ha provocado la inundación de zonas habitacionales aledañas durante la época de lluvias (Arreygue-Rocha, 2007). Por otra parte, existen asentamientos informales en la periferia de la ciudad en terrenos susceptibles a inundaciones y nuevos desarrollos habitacionales en zonas susceptibles a sismos en donde la población es altamente vulnerable a desastres (Corona, 2009, Arreygue-Rocha *et al.*, 2001).

Los fenómenos extremos ponen en riesgo el desarrollo de una población pues tras su irrupción, pueden perderse vidas humanas e infraestructura que contribuye al desarrollo como carreteras, escuelas y servicios públicos como en el caso de Honduras (Huracán Mitch, 1998) y Haití (Terremoto 2010). Dado que, generalmente, las poblaciones más pobres son también las más afectadas (IFRC 2010, Wilches Chaux 1993), impulsar el desarrollo humano en las sociedades contribuye a fortalecerlas ante desastres naturales.

La vulnerabilidad de la población ante eventos climatológicos extremos puede entenderse como un proceso cuyo dinamismo resulta en cambios constantes a través del tiempo (Birkmann, 2006). Las modificaciones que se producen en los estados de vulnerabilidad están ligadas a factores de índole social, ecológica y económica. Es por esto que el estudio de la vulnerabilidad puede llevarse a cabo a través de un enfoque que involucre a las ciencias de la complejidad. Una opción que integra dichos dominios es el enfoque de sistemas complejos

coevolutivos, el cual permite definir las relaciones de retroalimentación entre los componentes del sistema (Martínez-García 2005; 2010). Por coevolución se entiende un proceso circular por el cual el individuo es modificado y a su vez modifica su entorno (voluntaria o involuntariamente) (Martínez-García, 2012).

El enfoque de sistemas complejos coevolutivos permite entender de manera integral las relaciones entre los agentes que conforman un sistema y los sistemas, subsistemas y meta-sistemas con los que a su vez, dichos agentes interactúan. Bajo esta perspectiva, la vulnerabilidad de la población puede ser entendida a través de dos meta-atributos (*Aptitud* y *Flexibilidad*) que permiten al individuo mejorar sus condiciones de vida y tomar decisiones que mitiguen la vulnerabilidad (Martínez-García, 2010).

La ciudad de Morelia es la capital del estado de Michoacán de Ocampo, ubicado en la región central de México. En esta urbe se ha experimentado un notable crecimiento demográfico en los últimos años. El rápido crecimiento ha tenido como consecuencia una inadecuada planeación urbana, la cual propicia desastres, como las inundaciones que con frecuencia se presentan en algunas zonas de la ciudad. Además, la ciudad es propensa a sufrir eventos sísmicos producto de fallas geológicas, además de sequías (Garduño *et al.* 2001, Echeverría *et al.* 2008, Pola-Villaseñor *et al.* 2006, Arreygue-Rocha *et al.* 2001, Ávila *et al.* 2001, Cigna *et al.* 2012), todo lo cual hace a la población humana de la ciudad de Morelia vulnerable ante amenazas hidrometeorológicas y geológicas.

Así, el entendimiento de la dinámica entre las amenazas que acechan a una población, dicha población, y la vulnerabilidad en la que se desenvuelve, puede permitir que la comunidad tome decisiones que contribuyan a construir su resiliencia y facilitar su recuperación. Estos elementos son esenciales en el desarrollo a largo plazo, pues cualquier esfuerzo que se haga en favor de éste puede verse destruido tras la irrupción de un fenómeno extremo.

Es así, que el presente trabajo busca estudiar las causas sociales que subyacen a la generación de la vulnerabilidad ante fenómenos extremos en la ciudad de Morelia, Michoacán y cuyo entendimiento puede contribuir al fortalecimiento de la sociedad como medida de prevención ante el embate de un evento sorpresivo y con esto contribuir al desarrollo sostenible de la sociedad.

Fundamentos de la investigación

Algunos autores identifican factores que determinan la magnitud de un desastre tras el embate de un fenómeno natural y dan cuenta de la dinamicidad de la misma (IFRC 2010, UNISDR 2004, Cutter *et al.*, 2003). Dado que la vulnerabilidad emerge de procesos dinámicos en los que intervienen múltiples factores, el presente trabajo observa el siguiente planteamiento:

Planteamiento del problema

La vulnerabilidad de la población ante fenómenos naturales extremos es desconocida, para lo que se propone utilizar un enfoque de sistemas complejos coevolutivos para entender las características sociales que conforman dicha vulnerabilidad.

Pregunta principal

¿Cuál es el estado de la vulnerabilidad de la población de Morelia, Michoacán y su dinámica coevolutiva ante fenómenos naturales extremos?

Preguntas específicas

- 1) ¿Cuáles son los componentes y procesos de la dinámica coevolutiva que genera los estados de vulnerabilidad de la población de interés?
- 2) ¿Cuáles son los posibles puntos de palanca y las reglas de decisión para modificar la dinámica coevolutiva estudiada?
- 3) ¿Cuáles son los resultados de la posible aplicación de los puntos de palanca y las reglas de decisión en el comportamiento de la dinámica coevolutiva estudiada?

De esta forma se plantean los objetivos de investigación del presente trabajo de la siguiente forma:

Objetivo principal

Conocer el estado actual de vulnerabilidad de la población en la población de Morelia, Michoacán ante fenómenos naturales y su dinámica coevolutiva con el fin de generar recomendaciones para reducir dicha vulnerabilidad.

Objetivos específicos:

- 1) Identificar los principales componentes de la dinámica coevolutiva que genera los estados de vulnerabilidad de la población de interés.
- 2) Identificar posibles puntos de palanca y reglas de decisión para modificar la dinámica coevolutiva estudiada.
- 3) Evaluar los resultados de la posible aplicación de puntos de palanca y reglas de decisión en el comportamiento de la dinámica coevolutiva estudiada para reducir la vulnerabilidad de la población de interés.

Se describe la dinámica que entreteje la vulnerabilidad de la población de Morelia en base a factores económicos, ecológicos y sociales para generar posibles soluciones y mitigar la condición de vulnerabilidad, además de un modelo que flexible que pueda ser replicable en otras ciudades o regiones.

El presente estudio es explicativo ya que describe las causas que generan vulnerabilidad en la población de la ciudad de Morelia, enfocándose en la dinámica coevolutiva de la vulnerabilidad en sus manifestaciones a nivel social. El enfoque bajo el cual se aborda es mixto, teniendo componentes tanto cualitativos como cuantitativos.

La presente investigación aplica la flexibilidad de un enfoque cualitativo y su característico holismo que permite considerar el *todo* sin reducirlo al estudio de sus partes, posibilitando el su aplicación en otros contextos geográficos e incluso culturales.

De esta forma, el presente estudio tendrá como finalidad describir la dinámica evolutiva de la población de interés en la capital del estado michoacano limitado por la información disponible a este nivel. Siendo la escasez de información una restricción importante, esta investigación dará cuenta de aspectos sociales que conforman la vulnerabilidad de la población en una región geográfica que presenta amenazas naturales latentes.

El horizonte espacial es acotado al municipio de Morelia, Michoacán y el horizonte histórico, está limitado a la información disponible a nivel municipal de los atributos estudiados que abarca datos del periodo comprendido entre los años 2005 al 2010.

Resumen capitular

En el primer capítulo se aborda el concepto de desarrollo para entender la relación inversa que tiene con la vulnerabilidad y de esa forma explicar la importancia del reconocimiento de ésta en la correcta planeación del desarrollo en cualquier región. Esta relación, muchas veces ignorada es la que ha permitido el incremento de los desastres a nivel mundial pues en favor del desarrollo se realizan acciones que incrementan la vulnerabilidad de la población como el deterioro de los ecosistemas que funcionan como barreras a ciertos embates (UNISDR, 2004).

El segundo capítulo describe el enfoque de sistemas complejos coevolutivos, bajo el cual se mide la vulnerabilidad en el presente trabajo. A partir de los sistemas complejos coevolutivos se estudia la vulnerabilidad en función inversa de los meta-atributos *aptitud* y *flexibilidad*. El primero se refiere a la capacidad del sistema de alcanzar los objetivos y propósitos para los que fue creado, por debajo de umbrales de fracaso, y el segundo a la capacidad del sistema de coevolucionar con su entorno para seguir cumpliendo con tales objetivos y propósitos en el futuro (Martínez-García, 2010). Los sistemas complejos coevolutivos emergen de acciones e interacciones coevolutivas en el que los humanos tienen un papel central como observadores, creadores y actores de funciones dinámicas en un contexto de un todo más amplio (Martínez-García y Anderson 2007, Martínez-García 2010).

La metodología aplicada en este estudio se basa en el desarrollo de algoritmos de conducta para describir el comportamiento de los agentes (definir para el estudio de caso), para ser simulados computacionalmente. En esta simulación se genera la dinámica en la que se desenvuelven los agentes de estudio y así estudiar posibles escenarios futuros de la vulnerabilidad en Morelia.

En el tercer capítulo se describen las características sociales y la dinámica de la población del municipio de Morelia, las amenazas a las que está expuesta dicha población, y planes de gobierno para enfrentar dichas amenazas. Las características se describen en función de su papel en la generación o mitigación de la vulnerabilidad.

El cuarto capítulo describe el enfoque de sistemas complejos coevolutivos como la metodología empleada para describir el comportamiento de los sistemas y subsistemas de

interés. En esta parte del estudio, se determinan los componentes de los meta-atributos *aptitud* y *flexibilidad* para cada subsistema, así como la forma en que son valorados.

En el capítulo quinto se reportan los resultados del presente estudio. En un primer lugar se describe el estado actual de Morelia, encontrándose altos niveles de vulnerabilidad en los subsistemas *ocupación, educación y salud*, así como un nivel bajo en *vivienda*. El nivel de vulnerabilidad global del municipio es medio-alto. En este capítulo se explican también las reglas de conducta para simular a la población de interés, y los siete escenarios simulados que describen la dinámica coevolutiva del sistema de interés, así como los posibles puntos de palanca y los umbrales de fracaso identificados.

El capítulo sexto describe las recomendaciones para disminuir la vulnerabilidad actual de la población resultante de la valoración realizada, en un conjunto de acciones para mitigar el alto grado de vulnerabilidad encontrado.

Por último, en las conclusiones, se discuten los resultados que llevan a declarar a la población de interés en niveles de vulnerabilidad alto y extremo con condiciones que dificultan el mejoramiento de esta situación. Este panorama se puede exacerbar si la ciudad de Morelia sigue presentando crecimientos acelerados, y se mantienen los bajos niveles de educación y las condiciones limitantes para obtener mejores ingresos. El avance en el entendimiento de las características sociales que generan vulnerabilidad ante eventos extremos permite contribuir a la generación de políticas públicas efectivas que mitiguen procesos de susceptibilidad existentes y que permitan conducir al desarrollo equilibrado de la sociedad.

Se espera que los resultados del presente trabajo enfatizen la necesidad de realizar investigación multidisciplinaria que incorpore la exposición y permita a su vez, la generación de iniciativas locales específicas que distribuyan mejor la asignación de recursos.

CAPITULO I

El desarrollo regional y la vulnerabilidad ante fenómenos naturales extremos

La vinculación entre el desarrollo regional y la vulnerabilidad es de una naturaleza muy profunda aunque aún no se encuentran claramente concatenados en la literatura del desarrollo regional. El desarrollo debe fundamentarse en el desarrollo humano para lo que la mitigación de la vulnerabilidad es indispensable. El presente apartado tiene como objetivo profundizar en esta relación al mismo tiempo que se establece la perspectiva en la que el presente estudio aborda la vulnerabilidad ante eventos naturales extremos.

1.1. Consideraciones básicas sobre el desarrollo regional

En 1956, Walter Isard publicó un trabajo fundamental en el establecimiento de la ciencia regional como una construcción interdisciplinaria de un carácter eminentemente práctico que tenía como finalidad fungir como base de la planeación regional. En esta época, el concepto de desarrollo regional predominante se encontraba enmarcado en la economía neoclásica, partiendo de los supuestos de equilibrio de los mercados y de la convergencia de los ingresos entre los países y las regiones en base al libre comercio. Así, el libre comercio permitiría la movilidad de factores como los insumos para la producción, lo que a su vez contribuiría a la nivelación de los ingresos, y por lo tanto el combate a la pobreza. Estas teorías estaban en su apogeo cuando la globalización se encontraba tomando forma en el escenario mundial y cada vez más naciones se adherían al Acuerdo General sobre Aranceles y Comercio (GATT por sus siglas en inglés) que años más tarde se transformaría en la Organización Mundial del Comercio (OMC).

En esta época, la imagen de un país interconectado por el comercio generaba la esperanza de un mundo mejor en el que la pobreza podría ser erradicada de todo el planeta a través del libre comercio. Estas primicias pudieron dar inicio algunas décadas antes con el teorema de Hecksher-Ohlin de 1933 que afirma que los países se especializan en la exportación de bienes

cuya producción es intensiva en el factor abundante en dicho país, mientras que importaría bienes que utilizan factores en los que su factor es relativamente escaso.

Años más tarde, Hoover y Fisher (1949) señalaban que el desarrollo regional ocurría en una secuencia de etapas que surgían de la evolución del mercado de productos agrícolas a industrializados, desplazándose luego al sector terciario como consecuencia de la disminución del ingreso percibido en los sectores anteriores por incrementos en la población.

Hasta este punto, los modelos neoclásicos no lograban ajustarse a las distintas realidades regionales, por lo que aparecen nuevos modelos que se incorporan a la ciencia regional desde distintas perspectivas.

Bajo un enfoque keynesiano surgen otros modelos que no reconocen los supuestos neoclásicos como el de la base exportadora de North (1955) que desconocía las etapas descritas anteriormente y que por el contrario, reconocía diferencias preliminares de los factores de producción que permiten a unas regiones tener o generar una base exportable más productiva para impulsar el desarrollo. Por ende, la convergencia de los ingresos que suponía la teoría neoclásica sería inexistente, las regiones competirían entre sí por hacer más productiva tal base exportable y desplazarían a aquellas que no pudieran mantener tales niveles de competitividad. Tiebut (1956) entendía esto y argumentaba que una base exportable no conduce por sí misma al desarrollo, existen muchos otros factores involucrados como los precios de los insumos y la especialización de los mercados cercanos que tienen incidencia en el desarrollo de las industrias tanto domésticas como exportadoras.

Myrdal (1959) hace una crítica interesante al postulado del equilibrio estable en el que argumenta que algunas áreas se expanden en detrimento de otras en un proceso de expansión acumulativa en el que los movimientos que se generan de todos los factores de producción generan desigualdades regionales ya que los factores más competitivos son atraídos a las regiones ricas desarrolladas en menoscabo de las más pobres.

En la década de los setenta las fuertes discrepancias entre la teoría y la práctica de modelos desarrollados hasta entonces, fueron enfatizadas por muchos académicos en todo el mundo, surgiendo con ello nuevas formas de interpretar el desarrollo regional. En dichas teorías se reconocen las diferencias intrínsecas en las regiones que implican un planteamiento específico

de cada una de ellas para impulsar el desarrollo (Rózga, 2005). En América Latina, la teoría estructuralista entendía al desarrollo y subdesarrollo regional como partes enlazadas en un mismo proceso provocado por el libre comercio, por lo que la solución al subdesarrollo sería el crecimiento desde adentro de las economías, para lo que era importante sustituir las importaciones con producción nacional.

Sin lograr éxitos importantes en los países subdesarrollados, el cúmulo de conocimiento de la ciencia regional se encontraba en un punto en el que era necesario reformular muchos de los planteamientos que habían sido bases fundamentales en las décadas anteriores.

Friedman y Weaver (1980) señalaban la necesidad de replantear los principios rectores del desarrollo regional en busca de su principal objetivo: la reducción, y en el largo plazo eliminación, de la desigualdad del ingreso entre las regiones, disminuyendo así mismo la susceptibilidad a crisis económicas en el mundo. Dichos autores señalaban que si bien el desarrollo económico era importante, no era el fin único, sino que se debía incluir en forma preponderante una mayor ética ecológica, un mayor entendimiento sobre las contradicciones de la división internacional del trabajo, mayor preocupación por la desigualdad, y la reafirmación del principio de auto-suficiencia en todos los niveles del orden territorial; además de ver como imprescindible el reconocimiento de la heterogeneidad cultural, ideológica y socio-económica de las regiones para su planeación.

En esta nueva perspectiva se reconoce un entramado de numerosas variables y las relaciones de interdependencia entre ellas, que inciden en el desarrollo regional, y que explican la complejidad de su esencia y estudio. Sin embargo, los trabajos presentados hasta este punto se caracterizaron por analizar el desarrollo a un nivel político y estratégico, sin enfocarse en el empoderamiento de la sociedad, por lo que parecen de cierta forma desconectados con la realidad diaria de las localidades que componen regiones cada vez mayores.

A finales del siglo XX la globalización avanza a pasos acelerados y el pensamiento regional/local que parecía distenderse en este proceso resulta fortalecido en realidad. Ferrer (1996) describe la escasa interacción que guardan aún los países en el proceso de interconexión masiva que significa la globalización. A partir de esta época y hasta la actualidad diversos autores han contextualizado al desarrollo regional en base al crecimiento

endógeno partiendo de las características específicas del entorno articuladas a su vez con el territorio al que pertenezca.

Boisier (2005) señala que esta articulación es clave para lograr el desarrollo a largo plazo. Un ejemplo claro se encuentra en los casos de éxito de algunas regiones en Brasil, resultantes de las capacidades endógenas de los territorios, pero desarticulados del Estado. Para dicho autor, el desarrollo regional a largo plazo se encuentra comprometido por las resultantes migraciones masivas de habitantes de otras regiones menos prósperas.

Enmarcado en la ciencia regional, el desarrollo endógeno es, de acuerdo a Vázquez (2005), un proceso de crecimiento y cambio estructural en el que la organización del sistema productivo, las relaciones entre los actores, las actividades económicas, la dinámica de aprendizaje y el sistema sociocultural determinan los procesos de cambio. Esta perspectiva permite al desarrollo ser abordado desde un lente práctico y específico que busca el incremento del nivel de vida de los habitantes en base a sus potencialidades y desde los elementos fundamentales del desarrollo como la salud, la vivienda, la educación y el nivel de ingreso, más allá de variables macroeconómicas.

Una de las principales contribuciones del desarrollo regional a través de esta perspectiva, es el entendimiento de que el fin último del desarrollo debe ser el desarrollo humano, el cual que va más allá de la acumulación capitalista. Esta premisa se encuentra en literatura desde la década de los 70, pero cobra un sentido más profundo en un contexto específico como el desarrollo regional, donde se puede apreciar las diferencias al interior de una sociedad y las debilidades de sus diferentes componentes en busca del empoderamiento de los individuos por medio de diversas estrategias.

La heterogeneidad de las regiones se observa en las múltiples actividades económicas de una sociedad, en las relaciones entre diferentes actores, en los diferentes espacios en los que se desenvuelve, al tiempo que conserva la identidad que lo representa en su territorio y mejorando el lugar en el que se encuentra, lo que contribuye al fortalecimiento de los seres humanos para poder enfrentar los cambios en el entorno que se puedan presentar.

En concordancia con lo anterior, se observa que el desarrollo local debe considerar primordialmente el fomento de nuevas actividades productivas y empresariales a partir de los

factores potenciales de desarrollo endógeno y sustentable del territorio (Rózga, 2005), teniendo como principal objetivo el fortalecimiento de las capacidades de la población a través de sus elementos fundamentales: salud, vivienda, educación y nivel de ingreso.

1.2 El desarrollo humano como base del desarrollo regional

La discusión abordada en el apartado anterior permite entender al desarrollo como un concepto que engloba un *todo* dando pauta al entendimiento de la región como un espacio de transformación y por tanto, de del fortalecimiento de las capacidades de sus habitantes, articulado a su vez con otras regiones.

Friedman y Weaver (1980) subrayaban el holismo en el que se debe enmarcar el desarrollo regional y señalaban que debía ser visto como un continuo entrelazado de doctrina, teoría y práctica que varía en cada tradición dadas las ideologías y las circunstancias socioeconómicas subyacentes. Esta diferenciación no está presente en la estandarización de normas que ha sido impulsada por organismos internacionales desde hace algunas décadas y que de acuerdo a Stiglitz (2002) ha propiciado crisis económicas en varios países subdesarrollados.

Es posible que este tipo de medidas contribuyan a que en ciertos territorios el desarrollo regional no haya logrado acentuarse como un camino para la elevación del nivel de vida de la población. Sin embargo, existen casos de éxito que ayudan a comprender la intensidad del impulso al desarrollo humano que radica al seno de la ciencia del desarrollo regional.

Rivkin (1967) documenta el éxito en Turquía de la planeación regional a pequeña escala, en donde autoridades turcas y sus consejeros extranjeros debieron pensar en pequeño para entender la importancia estratégica de la zona y el tipo de actividades que podían detonar el desarrollo. Esta visión requirió de discernimiento y de una difícil experiencia para darse cuenta de la multitud de pasos pequeños e indispensables para lograr la realización de acciones concretas que beneficien a la sociedad, más allá de ideas audaces de los consejeros extranjeros que poco conocían el entorno específico en el que se iba a trabajar.

Bernick (1967) documenta por su parte la experiencia ocurrida en la comunidad judía que fundó una ONG que capacitaba a judíos en países no industrializados en conocimientos técnicos que pudieran permitirles un mejor nivel de vida. La institución adiestraba a sus

maestros en Suiza tanto para la enseñanza como para la práctica en industrias de dicho país. Al regresar a sus países de origen daban una buena impresión sobre lo que era posible alcanzar y esto contribuyó a disminuir la resistencia a estos nuevos modelos educativos en sociedades en las que el trabajo de los hijos era indispensable desde temprana edad.

Este modelo de enseñanza ayudaba a toda una generación de adolescentes a separarse de los moldes tradicionales y prepararse para la inminente industrialización. En Marruecos y Túnez, tras su independencia, muchos de estos alumnos se encargaron de posiciones que eran ocupadas por franceses gracias a la instrucción que habían recibido. En Israel, por su parte, este tipo de adiestramiento fue fundamental tras el período conocido como “el mandato” cuando fue necesario preparar a la mano de obra necesaria para la industrialización (Bernick, 1967).

Waterson (1979), por su parte, señala que un ejemplo claro de que el verdadero desarrollo viene del impulso del ser humano a nivel individual es encontrado en Noruega, uno de los con mejor nivel de vida en la actualidad y que comenzó con la planificación regional de su economía desde 1949. Desde sus inicios, los cuerpos de planeación de cada distrito se dedicaron por un lado, a realizar estudios de largo plazo de la economía, y por otro, a realizar proyectos individuales de la población. Estas acciones individuales contribuyen a generar un impulso importante al desarrollo del país en su conjunto.

Von Haldenwang (2000), recuenta la transformación ocurrida en Alemania en los años 90 del siglo XX, cuando disminuye la actividad industrial de los polos principales y dicho país se enfrentaba a la reconstrucción de los nuevos estados federados. Ante estas situaciones comenzaron a aplicarse nuevos modelos de modernización industrial y gestión económica orientados a la creación de ventajas específicas de la localización en el marco de visiones estratégicas de desarrollo. El desarrollo regional en este país ha sido pieza clave para su fortalecimiento como uno de los países más desarrollados del mundo.

En todos los casos mencionados, la intervención de los diferentes actores de la sociedad en el impulso al desarrollo regional es fundamental. Pedraza (2002) describe el caso de la industria láctea del estado de Michoacán, en la que la falta de apoyos gubernamentales y de vinculación

con el sector académico para fomentar el desarrollo tecnológico ha impedido el avance de la productividad en el sector.

Los casos expuestos anteriormente muestran dos aspectos importantes que prevalecen en el desarrollo regional:

- a) El entendimiento de la heterogeneidad que prevalece en los territorios, y que por ende, requiere de opciones de desarrollo igualmente específicas que se ajusten a cada realidad.
- b) La necesidad de la intervención activa de los diferentes actores sociales para lograr avances significativos y duraderos.

En este sentido, la aplicación de medidas de desarrollo regional no implica su desarticulación de la economía territorial a la que pertenezca, sino el impulso a las acciones individuales que permitan el desarrollo humano a partir de una perspectiva integradora que genere cada vez mejores condiciones de vida a la población en general, permitiendo las interacciones sociales en todos los aspectos de la vida nacional.

El desarrollo regional es, por tanto, un escenario fundamental para detonar cambios drásticos que permitan a la población modificar patrones de pobreza y marginación y elevar sus condiciones de vida.

1.3. La vulnerabilidad y el desarrollo regional

Por vulnerabilidad se entiende la susceptibilidad de daño debido a la modificación de las condiciones actuales. El ser humano es vulnerable ante eventos sociales, económicos y naturales tales como crisis económicas, epidemias, guerras, fenómenos naturales, entre otros. El concepto de vulnerabilidad lleva implícita la variabilidad de las condiciones sociales, una dinámica que puede ser modificada tanto por las acciones individuales como por cambios en las estructuras en su entorno.

Recapitulando los recientes acontecimientos de abruptos fenómenos naturales que dejan a su paso devastaciones como los huracanes Mitch (Honduras, 1998), Katrina (EE.UU, 2005) y Alex (México, 2010), los terremotos de Haití, Chile (2010) y más recientemente el de Japón (2011), el tsunami de Indonesia (2004) entre otros, se puede inferir la relación inversa que

tienen los desastres y el desarrollo y las acciones individuales que exacerbaban la vulnerabilidad de la población. En todos los fenómenos que se han mencionado como ejemplo miles de personas han perdido la vida, su hogar, sus pertenencias y de manera temporal, el acceso a servicios básicos de todo tipo. Otra consecuencia es el retraso de muchos de los avances logrados en pos del desarrollo. A nivel individual, las pérdidas se cuentan en vidas humanas y en pertenencias familiares, a nivel social se contabiliza el daño a las estructuras colectivas como las escuelas y los hospitales, y a la vida económica de la población (UNDP, 2004).

La perspectiva de la vulnerabilidad ha sido impresa en un cuerpo académico que ha cobrado importancia en las últimas décadas y que estudia los fenómenos naturales a los que está expuesta la sociedad y los desastres que de ellos emanan. En este cuerpo académico, la vulnerabilidad se refiere a la incapacidad de las poblaciones a responder ante fenómenos naturales inesperados o extremos. Cuando una población vulnerable se enfrenta a un fenómeno al que está expuesto ocurre un desastre, por lo que la determinación de los factores que generan dicha vulnerabilidad es fundamental para su prevención.

De acuerdo a Hilhorst y Bankoff (2004), dentro de las sociedades existen procesos sociales que provocan que ciertos estratos de la sociedad sean más susceptibles a desastres que otros, por lo que resulta importante entender cómo se entretrejen tales relaciones para prevenir desastres. En esta aproximación se hace palpable un entramado de variables que intervienen en la generación de tales condiciones.

Algunos reportes internacionales como el de la Federación Internacional de la Cruz Roja (IFRC 2004, 2010) y el de la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción de Desastres (UNISDR, 2004) que intervienen en zonas dañadas por eventos naturales en todo el mundo. Sus cercanas participaciones en desastres naturales permiten entender la dinámica en la que se entretreje la vulnerabilidad de los países con mayores afectaciones en el mundo. Uno de los puntos más destacados de estos reportes es la constatación en múltiples escenarios de que la población más vulnerable ante eventos naturales extremos es también la más desprotegida en términos socio-económicos esta relación se repite entre los países. Esto es, que los países más pobres o menos desarrollados son los más propensos a los desastres y con mayor dificultad para recuperarse.

Existe evidencia que señala que el hecho de que los más pobres sean los más afectados es el resultado de toda la estructura social en la que viven y no únicamente de la presencia de fenómenos naturales extremos (Wilches-Chaux 1993, UNDP 2004). Un par de casos emblemáticos es el del huracán Mitch en 1998 en Honduras y el terremoto de Haití en 2010. En ambos, además de la lastimosa pérdida de vidas humanas, las pérdidas de la infraestructura retrasaron el desarrollo del país varios años, y en algunos casos aún no han sido completamente restauradas (BID 1999, UNDP 2010).

La presencia de fenómenos naturales que puedan incrementar de intensidad inesperadamente ocurre en todo el mundo. Sin embargo, es en los países en los que las condiciones sociales son precarias, en los que también es más difícil hacer frente a eventos de este tipo. La escasez de recursos económicos es una barrera importante para lograr una rápida recuperación, así como para la construcción apropiada de las estructuras de una sociedad expuesta a ciertos riesgos y una planeación adecuada del entorno y su crecimiento (BID 1999, Wilches-Chaux 1993, UNDP 2004).

Un factor muy importante que contribuye a la vulnerabilidad en las zonas urbanas de los países menos desarrollados es la expansión demográfica. La Organización de las Naciones Unidas estimaba que, en 2010, las zonas urbanas de los países de ingresos bajos y medianos contaban con 2,500 millones de habitantes, de los cuales 1,000 millones viven en condiciones de hacinamiento de mala calidad en barrios informales y/o marginados (IFRC, 2010). Se desprende así que el tipo de desarrollo en estos países genera vulnerabilidad de diferentes formas, por un lado poniendo presión en los recursos de los que dependen, y por otro incrementando la población en condiciones de pobreza que tienen menos capacidad de respuesta ante cambios en su entorno.

El desarrollo humano es por tanto, una pieza fundamental en la mitigación de vulnerabilidad, con lo que su vinculación al desarrollo regional se vuelve imprescindible. El tipo de desarrollo prevaleciente en países menos avanzados, por lo tanto, ha contribuido a la generación sistemática de la vulnerabilidad al no existir una planeación adecuada y al no impulsar el desarrollo humano en todos los grupos que conforman la sociedad. Este fenómeno ocurre a la sombra de otros dos: la carencia de ingresos bien remunerados en el ámbito rural

con el consecuente éxodo de la población hacia las urbes y la falta de oportunidades en las mismas que permitan a la población mejorar su nivel de vida.

La vulnerabilidad es, por tanto, un concepto que permite plantear todos estos escenarios y además vincularlos con el desarrollo. Si bien el desarrollo regional es un concepto que aborda de manera específica las interacciones que los individuos tienen en su entorno para impulsarlo, la vulnerabilidad permite esbozar las relaciones que hacen a una población susceptible a modificaciones en el entorno, sobre todo a aquellas inesperadas. Con respecto al desarrollo, estos cambios pueden retrasarlo o anularlo, dejando a los individuos cada vez más expuestos a nuevas modificaciones que puedan surgir en el futuro.

De esta manera, la relación entre la vulnerabilidad y el desarrollo es muy profunda, por un lado, el desarrollo regional es una forma de disminuir la vulnerabilidad al fortalecer las capacidades de la población a través de sus elementos fundamentales como la salud, la vivienda, la educación y el nivel del ingreso, así un territorio desarrollado será menos vulnerable a los cambios en su entorno. Por otro lado, cualquier sociedad que tenga como objetivo impulsar el desarrollo de la población debe tener en cuenta los patrones de vulnerabilidad que pueda estar generando, de lo contrario el desarrollo no será produciendo de manera sostenible y cualquier evento catastrófico retrasaría los esfuerzos hechos en pro del desarrollo. Esto es visible en sociedades que han construido infraestructura como carreteras, escuelas y hospitales sin tomar en cuenta las amenazas inherentes al territorio como en el caso de Honduras, en el que tras el embate del huracán Mitch en 1998 una gran parte de dicha infraestructura sufrió daños severos y debió ser reconstruidos (BID, 1999).

Otro ejemplo de ello se observa en la ciudad de Morelia, Michoacán, en donde a consecuencia de la planeación urbana de los años 30, se rectificó el río Chiquito que atraviesa la urbe y se construyeron puentes que conectaran la ciudad. En los terrenos aledaños al río se edificaron viviendas e infraestructura que sufren inundaciones en época de lluvias. El cauce modificado del río y los puentes que lo atraviesan son causa del desbordamiento recurrente del río (Arreygue-Rocha, 2007)

De acuerdo a Vázquez (2005), el desarrollo endógeno es un proceso de crecimiento y cambio estructural con una configuración propia que surge de la evolución de los sistemas

productivos, de los cambios tecnológicos y organizativos al interior del territorio. En este sentido, el desarrollo debe ser impulsado a partir de una planeación que sea capaz de promover el desarrollo humano así como de prever los escenarios que se puedan enfrentar en el corto, mediano y largo plazo en aras de que tales esfuerzos no se conviertan en generadores de vulnerabilidad en la población.

El desarrollo regional se convierte entonces en el espacio idóneo para combatir la vulnerabilidad de la población, debiendo ser éste uno de los objetivos en su planificación. Dado que tanto el desarrollo como la vulnerabilidad son configuraciones que emergen de procesos dinámicos, es necesario que se estudien dichos procesos para incluir las reformulaciones pertinentes en la planeación del territorio en el que el desarrollo humano juega un papel fundamental. De lo contrario, cualquier iniciativa que se encause a impulsar el desarrollo de una región puede volverse un arma de doble filo en caso de cambios inesperados en el entorno y esto ha demostrado ser más factible en los países menos desarrollados.

Esta realidad es en gran parte propiciada por la inexperiencia de las entidades gubernamentales para formular estrategias que puedan en realidad impulsar el desarrollo en sus territorios. Waterson (1979), Winslow (1967), Adler (1967) y Bernick (1967) hacen énfasis en la necesidad de la capacitación de funcionarios de primer y segundo nivel para que el desarrollo pueda ser eficazmente impulsado en los países subdesarrollados. Esta falta de capacitación puede ser resultado de incluso de patrones cognitivos con los que la ciencia se ha venido desarrollando y que Boisier (2005) ha señalado como barreras al entendimiento de lo que debe significar en realidad el desarrollo.

Así, el desarrollo regional se enfrenta a la difícil tarea de conciliar a los distintos actores que conforman el territorio y el complejo entramado de las relaciones que subyacen entre ellos en busca de la expansión de la vida en todos los sentidos, elevando la calidad de la misma en beneficio de todos sus componentes. En esta tarea los supuestos de linealidad y causalidad de la ciencia clásica presuponen una barrera que orilla a reformular tales preceptos.

Para entender con mayor detenimiento los conceptos planteados en este apartado, a continuación se hace una introducción a los sistemas complejos coevolutivos, como una aproximación que permite entender a la vulnerabilidad como parte de un contexto más amplio

en el que el observador es también actor y partícipe de los rasgos de identidad en el que se desenvuelve por lo que se convierten en una herramienta idónea en el estudio de la vulnerabilidad.

CAPITULO II

La vulnerabilidad y los sistemas complejos coevolutivos

La vulnerabilidad emerge de la interacción no-lineal entre variables que representan, entre otras, el entramado de relaciones sociales de una población y su respuesta proactiva y reactiva ante eventos extremos, por lo que el presente trabajo utiliza la visión de los sistemas complejos su estudio para lograr su entendimiento (capítulo 1). El enfoque de sistemas complejos coevolutivos es una aproximación que permite estudiar a los sistemas de interés de manera integral de estudio a través del entendimiento de un contexto de un todo en el que el observador es también actor y partícipe de los rasgos de identidad en el que se desenvuelve.

2.1. La complejidad de la vulnerabilidad

Existen numerosos estudios en las últimas décadas dedicados al análisis de la vulnerabilidad ante fenómenos naturales desde distintas perspectivas, circunscribiendo a la vulnerabilidad a las condiciones específicas de la región de interés (ver anexos 1 y 2). A pesar de sus divergencias, dichos estudios convergen en lo siguiente:

- a) La vulnerabilidad es generada a partir de relaciones entre la sociedad y su entorno.
- b) La capacidad de respuesta y la prevención son fundamentales en los procesos de mitigación de la vulnerabilidad, y parten de aspectos fundamentales del desarrollo humano como salud, educación, nivel de ingreso y vivienda.
- c) La vulnerabilidad debe ser estudiada a partir de un espacio-región que permita acotar las relaciones y los fenómenos que pueden producir desastres.

A partir de estas observaciones, es evidente la necesidad de abordar el estudio de la vulnerabilidad de poblaciones humanas con herramientas que permitan entender el conjunto de procesos de los que emerge el comportamiento complejo y la vulnerabilidad de los sistemas de interés. Weaver (1948) hacía énfasis en la necesidad de entender los problemas que comenzaba a enfrentar la sociedad en aquél tiempo a partir del análisis de muchas variables en el que cada una puede tener un comportamiento errático individual o posiblemente totalmente

desconocido, entendiendo las relaciones entre ellas y observando detalladamente las características propias del sistema y del orden que mantiene, con lo que definía la complejidad.

Mitchell (2009) explica la complejidad fácilmente a través del comportamiento de colonias de hormigas. Al examinar una sola de ellas se puede observar la simplicidad de su comportamiento, sin embargo, una colonia de hormigas desarrolla patrones de inteligencia colectiva a través de la interacción entre todos sus miembros, la cual no se explica como la suma del comportamiento de individual de los insectos.

Cutter (1996, 2003, 2008), a partir del estudio de poblaciones afectadas por eventos extremos en los Estados Unidos de América (EE.UU), describe numerosos factores de distinta índole que generan la vulnerabilidad de una sociedad. Entre dichos factores se encuentran el nivel de ingreso, la pérdida potencial de empleo y el tipo de actividades económicas que se desarrollan en la región, el grado de ruralidad, la población que no cuente con vivienda propia, la falta de acceso a servicios médicos, el grado de dependencia social, la seguridad alimentaria, la estructura familiar, las barreras culturales a los grupos minoritarios, el nivel de educación, la falta de mecanismos de apoyo social, la población con necesidades especiales, el género, los planes de contingencia, la violencia urbana, la gobernanza y la salud. Todos estos factores ponen en relieve que la vulnerabilidad es un constructo social que depende del espacio geográfico que se estudie.

Otras contribuciones en el estudio de la vulnerabilidad ante desastres naturales se encuentran en reportes como el de la Federación Internacional de la Cruz Roja (IFRC 2004, 2010) y el de la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción de Desastres (UNISDR, 2004). Sus cercanas participaciones en desastres naturales permiten entender la dinámica en la que se entreteje la vulnerabilidad de los países con mayores afectaciones en el mundo.

Uno de los puntos más destacados de estos reportes es la constatación en múltiples escenarios de que la población más vulnerable ante eventos naturales es también la más desprotegida en términos socio-económicos ocurriendo la misma relación entre países. Esto es, que los países más pobres o menos desarrollados son más propensos a los desastres y son los que a su vez presentan una mayor dificultad para recuperarse, por lo que el impulso de los factores

esenciales del desarrollo de los individuos resulta crucial en la disminución de patrones de vulnerabilidad ante eventos externos.

Es así que la vulnerabilidad intenta abarcar la inminente susceptibilidad del hombre a ser dañado por elementos externos a él, pero también, contempla la posibilidad que tiene de evitar y manejar dichos elementos de manera tal que no le causen perjuicios o que cuando menos sean mínimos. Esta síntesis, es la que permite al análisis de la vulnerabilidad estudiar escenarios en los que se modelen eventos naturales que puedan detonar desastres en determinada población, así como los efectos de las actividades humanas que puedan estar provocando que tales eventos se conviertan en desastres.

Por su parte, la teoría general de sistemas (von Bertalanffy, 1969) señala que un sistema debe ser estudiado no sólo a través de sus componentes, sino esencialmente a través de la naturaleza de las relaciones que existen entre dichos componentes. De esta forma, un sistema se entienden como un todo en el que sus partes interactúan en base a la competencia, lo que presupone una lucha de partes. Tienen un carácter axiomático y los elementos que conforman un sistema pueden ser diferentes en su número, el tipo de sus especies y las relaciones entre ellos. La noción de un sistema está relacionada con una visión panorámica de un problema que contrasta con la visión típica de variables relacionadas linealmente (von Bertalanffy, 1969). Para el autor, la ciencia social debe estudiarse mediante aproximaciones sistemáticas en la que se dé importancia a las relaciones de los elementos sociales sin ánimo reduccionista y es precisamente el carácter de la vulnerabilidad en el presente estudio.

Así, un ente se comporta como sistema complejo cuando las relaciones entre las variables son fuertes y no lineales y su estudio implica lidiar con un considerable número de factores que se interrelacionan como un todo orgánico (Mitchell, 2009), lo que elimina la posibilidad de su estudio a través de relaciones lineales causa-efecto. Es entonces que son necesarias nuevas metodologías para su entendimiento y generalmente el apoyo de computadoras para su simulación (Functowitz *et al.*, 1999).

De esta forma, el enfoque de los sistemas complejos permite un estudio de la vulnerabilidad adecuado al incluirla no solo como una característica de un grupo social, sino como un proceso dinámico entrettejido en las relaciones de una sociedad. De acuerdo a autores como

Heylighen (1999) y Clayton *et al.* (1997), la complejidad emerge de una amplia variedad de procesos de diferenciación e integración entre los elementos dentro de un sistema, por lo que el estudio de la complejidad de un fenómeno implica el entendimiento de las relaciones entre los elementos que la conforman entendiendo en ellas efectos y causas que surgen en muchas direcciones. De acuerdo a Heylighen (1999), la complejidad que emerge de la diferenciación y la integración en la dimensión espacial se llama estructural; mientras que la que emerge de la diferenciación y la integración en la dimensión temporal se llama funcional.

Para Hilhorst (2008), la complejidad de la vulnerabilidad reside en las relaciones sociales entre agentes e instituciones, que también son la base de la respuesta ante los desastres, de modo que tanto la vulnerabilidad como la capacidad de respuesta ante desastres pueden ser modificadas como resultado de estudios como el que aquí se presenta. Los sistemas vulnerables de interés poseen las siguientes propiedades que los caracterizan como complejos (Mitchell, 2009):

- a) En el estudio de la vulnerabilidad, los componentes son los individuos de una sociedad.
- b) Tales componentes tienen relaciones no lineales entre ellos, es decir las relaciones que tienen los individuos con su entorno tanto familiar como económico y social.
- c) Estos individuos se auto-organizan.
- d) Tienen comportamiento emergente es decir, presentan conductas resultantes de las interacciones de los componentes del sistema que no pueden ser explicados si se toman aisladamente (Torres 2012). Esto implica que en un sistema existan organizaciones jerárquicas, procesamiento de información y evolución y aprendizaje.

Cowan (1999) añade al respecto que una importante característica de los sistemas es su dinamismo, una de las características de la vulnerabilidad, lo que implica que una vez que alcanzan un equilibrio termodinámico se extinguen o dejan de ser de interés.

2.2. Los sistemas complejos coevolutivos

Los sistemas complejos coevolutivos (SCCs) pueden entenderse como entidades creadas por humanos que presentan conductas resultantes de la interacción de sus partes que no podrían ser entendidos si se analizaran aisladamente en el que los humanos son observadores-creadores-actores-dueños de la realidad en un contexto de un mayor todo en el que el mundo de los símbolos, valores, entidades sociales y cultura es tan real como el mundo físico (Martínez-García, 2010).

Esta aproximación resulta en un flujo permanente, dinámico, circular de información, materia y energía en el que se reconoce que la perspectiva y experiencia personal es única y el rol de la comunicación es fundamental para la colaboración (Martínez-García, 2010).

La naturaleza dinámica de los SCCs resulta en una predicción limitada que no puede extenderse ni al largo plazo ni al detalle. Es decir, las personas coevolucionan con el entorno por medio de la generación y aplicación de conocimiento, modificando el ambiente al tiempo que son cambiados también (Gilbert 2004, Axelrod y Cohen 1999). Estas constantes transformaciones son las que restringen la capacidad predictiva de los sistemas.

Los SCC se representan como circuitos de retroalimentación en los que cualquier incremento en la complejidad analítica de cualquier sistema produce un incremento en la complejidad de ambos y en complejidad predictiva de comportamientos futuros. Cada vez que un nuevo sistema emerge de procesos coevolutivos se puede incrementar el tamaño del espacio de fase que es el conjunto de todos los estados posibles de un sistema dinámico (Martínez-García, 2010).

Los sistemas complejos coevolutivos resultan en un enfoque que permite entender un contexto de un *todo* en el que el observador es también actor y partícipe del sistema de interés dentro de un proceso coevolucionario que importa energía, información y materia para crear orden, al tiempo que exporta entropía al ambiente (Martínez-García, 2010). Estas características lo convierten en una metodología útil en el estudio de la vulnerabilidad, con el objetivo de impulsar el desarrollo humano partiendo de sus elementos fundamentales como son educación, salud, nivel de ingreso y vivienda.

El enfoque de Sistemas Complejos Coevolutivos (ESCCes) utiliza como herramientas, entre otros, los conceptos de umbrales de fracaso y puntos de palanca en el sistema. Los primeros son indicadores que permiten medir el costo límite en el que se puede incurrir para que un objetivo sea alcanzado (Martínez-García y Anderson 2007). Los segundos se refieren a cantidades relativamente pequeñas de energía, materiales y/o información necesarias para producir grandes cambios en el comportamiento de los sistemas complejos (Holland, 1996). Por su parte, el concepto de puntos de bifurcación se refiere al momento en el que el *espacio fase* (el conjunto de todos los posibles estados de un sistema dinámico) se contrae en un punto con solo dos opciones futuras: la transformación en un sistema diferente o la extinción del mismo (Martínez-García, 2010).

Una de las principales características que enuncia Martínez-García (2010) de los sistemas complejos coevolutivos y que es fundamental en el estudio del desarrollo regional es el sistema procesa información en su interior para tomar decisiones, enfatizando el diseño de procesos cognitivos y una experiencia personal única en los individuos como bases de comunicación y de acción colaborativa.

En el contexto del ESCCes, la dinámica coevolutiva está definida a través de dos meta-atributos: *Aptitud* y *Flexibilidad*. El primero se refiere a la capacidad del sistema para alcanzar los objetivos (cuantitativos) y propósitos (cualitativos) para los que fue creado. El segundo se refiere a la capacidad del sistema dinámico para coevolucionar con su entorno. Dicha *Flexibilidad* es entonces la capacidad para generar opciones óptimas dentro del espacio de fase del sistema dinámico (Martínez-García y Anderson 2007, Martínez-García 2010). Estos meta-atributos permiten entender la manera en la que el desarrollo de los individuos que conforman a al sistema de interés determina y es determinado por su vulnerabilidad.

La vulnerabilidad puede estudiarse a través del enfoque de SCCes, considerándola como un proceso que emerge de la interacción entre los componentes del sistema de interés y con su entorno. Tales interacciones resultan en comportamientos impredecibles, no lineales y dinámicos. Para efectos del entendimiento de la vulnerabilidad, también se puede abordar a partir de los conceptos de *Aptitud* y *Flexibilidad* bajo los que se puede valorar a la capacidad de los individuos para lograr objetivos básicos de su subsistencia como el de tener un ingreso que le permita vivir dignamente, un alto nivel educativo, condiciones óptimas de salud y una

vivienda adecuada, así como de continuar logrando tales objetivos tras la irrupción de un fenómeno extremo mitigando procesos de vulnerabilidad. Los puntos de palanca, por ende, deben entenderse a través del fortalecimiento de las capacidades de los individuos que permitan la mitigación de los procesos de vulnerabilidad.

De acuerdo a Martínez-García (2010), la coevolución implica un proceso de adaptación circular que resulta de la interacción de sistemas tanto de manera horizontal (dentro de jerarquías del mismo sistema), como vertical (entre sistemas). Así, los SCCes se entienden como procesos coevolutivos, a partir de intercambios de energía, información y materia con su entorno (Martínez-García 2010).

En el estudio de la vulnerabilidad ante el cambio global, la coevolución juega un papel muy importante, pues se considera que existen procesos de aprendizaje derivados de eventos climatológicos inesperados y de la percepción del riesgo sobre el entorno. Esta percepción está condicionada por factores sociales como la pobreza, la educación y la disponibilidad de información sobre amenazas del entorno.

Es importante enfatizar, sin embargo, que a diferencia de la adaptación, la coevolución es un proceso que implica una adaptación circular del individuo para hacer frente a los cambios externos en términos de la ley de variabilidad requerida de Ashby (1958) que sugiere que cuanto mayor es la variedad de acciones de un sistema regulado, también es mayor la variedad de perturbaciones posibles que deben ser controladas. En el caso del presente estudio, tales perturbaciones son los eventos extremos ante los que la población es vulnerable.

2.2.1. Modelización y simulación de los SCCes

De acuerdo a Mitchell (2009), la simulación por computadoras es una poderosa herramienta que ha permitido entender la complejidad logrando estudiar cómo los sistemas procesan información y actúan en los resultados. Por su parte, señalan la simulación en las ciencias sociales se popularizó en la década de 1990 para estudiar fenómenos sociales y económicos en la búsqueda de comportamientos complejos a partir de actividades relativamente simples (Gilbert *et al.* 1999; Gilbert *et al.*, 2004). Una herramienta utilizada ampliamente en este enfoque es la modelación-simulación basada en agentes (MSBA). De acuerdo a Gilbert

(2004), la finalidad de la MSBA es crear programas que muestren la interacción de varios agentes en un medio ambiente.

En este tipo de recreaciones, se programan computacionalmente agentes con reglas de interacción con su entorno simples, permitiendo observar una secuencia de estados posibles del sistema de interés. Lucas (2003) señala que la modelación-simulación basada en agentes sirve para capturar fenómenos emergentes que permiten luego definir los sistemas complejos. Los fenómenos emergentes surgen como resultado de la interacción no lineal en subsistemas entre agentes, generando comportamientos en distintos niveles jerárquicos.

La MSBA ha sido utilizada en numerosos campos como la política, la economía, la administración, la arqueología, la antropología, entre otras (Mitchell 2009). La MSBA permite generar patrones de conducta y compararlos con observaciones de la realidad. Sin embargo hay dos consideraciones a tomar en cuenta cuando se usa esta herramienta. La primera es que casi todos los modelos poseen un componente estocástico, o mas precisamente, aleatorio al inicio de la corrida computacional. Esto es que una vez definidas computacionalmente las características de la población, el programa establece aleatoriamente la primer selección de los agentes en base a las reglas establecidas, lo que determina los resultados de la simulación. La segunda es que distintos modelos pueden producir patrones similares y aunque concuerden con la realidad pueden no estar explicando correctamente el funcionamiento del sistema.

Oreskes *et al.* (1994) explican lo anterior debido a la naturaleza abierta de los sistemas en la que la validación y la verificación es imposible y por que los resultados de los modelos no son únicos. Los modelos pueden ser confirmados por la demostración y la concordancia entre la observación y la predicción, pero la ratificación sigue siendo limitada, ya que los modelos sólo pueden ser evaluados parcialmente debido al acceso limitado de los fenómenos naturales .

Gilbert *et al.* (1999) señalan que la simulación en las ciencias sociales puede ser útil para:

- 1) Tener un mejor entendimiento de la dinámica social.
- 2) Predicción (limitada).
- 3) Desarrollar nuevas herramientas para completar capacidades humanas que permitan una mejor comprensión del entorno de interés.

La vulnerabilidad ha sido abordada utilizando técnicas de MSBA como herramienta de estudio. Por ejemplo, Padilla y Dávila (2011) realizaron un estudio sobre la gestión de desastres y reducción del riesgo ante eventos extremos; Chen y Zhan (2008) realizaron una simulación de una evacuación urbana; Acosta-Milchik y Espaldon (2008) estudian el comportamiento de la población de tres comunidades filipinas ante el cambio climático global.

En la presente investigación se estudia la vulnerabilidad de la población de interés por medio de técnicas de MSBA a partir del enfoque de SCCes, lo que permite observar la interacción entre los agentes entendiendo el papel central de los humanos como observadores y actores del sistema, así como la existencia de niveles jerárquicos que resultan del comportamiento emergente (Martínez-García, 2010). Estas características lo convierten en una metodología idónea en el estudio la vulnerabilidad, énfaticando las debilidades de los individuos como factores limitantes o desencadenantes del desarrollo y por lo tanto de reducción de la vulnerabilidad.

Así, el presente estudio tiene como finalidad analizar la vulnerabilidad ante eventos extremos de la población de Morelia, Michoacán utilizando el enfoque de sistemas complejos coevolutivos con la finalidad de entender las características sociales de la población que subyacen en la generación de la vulnerabilidad ante eventos extremos . El siguiente apartado busca esbozar tales características poniendo de relieve los peligros que enfrenta la población.

CAPITULO III

Generalidades de la ciudad de Morelia, Michoacán

Este capítulo tiene como finalidad esbozar las características demográficas, físicas y climatológicas de la ciudad de Morelia Michoacán que permiten estructurar los principales atributos para la modelación de la vulnerabilidad de la población de interés (apartado 4.1.1). Esta ciudad presenta características peculiares que permiten el estudio de su vulnerabilidad, como las frecuentes inundaciones o las fallas sísmicas que han producido hundimientos de menor magnitud en algunos perímetros de la ciudad y que son revisados en el presente apartado. En el presente capítulo se señalan peligros latentes que acechan a la población, los que, aunados a las inter-relaciones no lineales entre ciertas variables pueden generar una mayor susceptibilidad de los sistemas de interés a fenómenos extremos.

3.1. Características del municipio de Morelia, Michoacán

La ciudad de Morelia es la capital del estado de Michoacán, se encuentra en el centro del país contando con una extensión territorial de 1,196.95 kilómetros cuadrados; en el censo del 2010 contaba con una población de 729,279 habitantes (INEGI, 2010). La ciudad está situada (INEGI, 2009).

En la ciudad, el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, perteneciendo a las regiones hidrológicas del Lerma-Chapala (en un 93%) y del Balsas (en un 7%). Se encuentra en las subcuencas del Lago de Pátzcuaro (87%), Río Purungueo (4.18%), Río Angulo (3.86%), Río Carácuaro (2.82%) y Lago de Cuitzeo (.14%) en el valle denominado Guayangareo, formado por un repliegue del Eje Neovolcánico Transversal al norte del estado (INEGI, 2009).

Tal como se puede observar en la tabla 1, la mayor parte de la población ocupada en el municipio se encuentra laborando en el sector terciario de acuerdo al Censo General de Población y Vivienda del 2000.

Tabla 1. Población Económicamente Activa (PEA) de 12 años o más por sector de actividad

	Michoacán de Ocampo	Morelia
Total	1,226,606	230,201
Sector Primario	290,721	8,041
Sector Secundario	304,818	53,742
Sector Terciario	598,751	162,010
No especificado	32,316	6,408

Fuente: INEGI. XII Censo General de Población y Vivienda 2000.

El municipio observó un crecimiento poblacional muy importante entre el año 2000 y 2005 (tabla 2), período en el que la población tuvo un incremento de un 49.2% con respecto al periodo anterior. A partir de entonces se registró una tasa de crecimiento moderada de un 6.5% hacia el 2010. Se asume que este crecimiento genera vulnerabilidad al generar presión cada vez mayor sobre los recursos ecológicos y no permitir una planeación adecuada de la urbe (Apartado 4.4).

Tabla 2. Crecimiento Poblacional del Municipio de Morelia

Año	Población total	Tasa de crecimiento
2010	729 279	6.597139495
2005	684 145	49.23912901
2000	458 422	-6.995116666
1995	492 901	-

Fuente: Elaboración propia en base a los Anuarios Estadísticos del INEGI 1995, 2000, 2005 y 2010.

En 2007, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) elaboró un Informe sobre Desarrollo Humano (IDH) en el estado de Michoacán, en el que Morelia obtuvo el primer lugar en IDH obteniendo altos índices en salud, ocupación y educación con respecto a todos los municipios de la entidad, posicionándose incluso en el lugar 74 en la escala del IDH a nivel nacional.

En 2010, El Consejo Nacional para la Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval) utilizó una metodología multidimensional para la evaluación de la pobreza en la que se mostró que el 44.1 % de la población en Morelia son considerados pobres, de los que el 10.2 % vive en condiciones de pobreza extrema. Además, el 22.4 % no ha concluido educación básica, y el 39.7 % de la población no tiene acceso a servicios de salud (ver anexo 3).

Estos datos señalan las condiciones sociales que generan vulnerabilidad ante eventos climatológicos extremos. Dichas condiciones son incorporadas en la determinación del *estado-estable* del sistema de interés (capítulo 5).

3.2. Las amenazas en la región

En este apartado se detallan las amenazas naturales a las que está sujeta la población de Morelia de acuerdo a estudios académicos recientes. Las amenazas que se recuentan son de tipo geológicas e hidrometeorológicas. Si bien, la ciudad puede enfrentar amenazas de otros tipos, las que aquí se recuentan son sólo las que han sido documentadas científicamente.

3.2.1. Fallas tectónicas que amenazan la ciudad

La ciudad de Morelia se encuentra en la parte norte del estado de Michoacán, es sede del gobierno estatal, existen algunas industrias instaladas, y un gran número de negocios y de instituciones educativas de todos los niveles que atraen estudiantes de todo el país. Existen estudios académicos que muestran algunas amenazas a las que está expuesta la población que habita esta ciudad, y serán estos resultados en los que se basará la descripción de las mismas (Garduño *et al.* 2001, Echeverría *et al.* 2008, Pola-Villaseñor *et al.* 2006, Arreygue-Rocha *et al.* 2001, Ávila *et al.* 2001, Cigna *et al.* 2012).

Garduño *et al.* (2001) estudian fallas asociadas a la sobreexplotación de acuíferos y la presencia de fallas potencialmente sísmicas en la ciudad. En su reporte, detallan que la región en la que se encuentra Morelia, pertenece al Cinturón Volcánico Mexicano, en donde han acontecido algunos sismos de gran intensidad.

A partir de 1983, se empezaron a observar en Morelia, problemas de hundimientos que provocaron daños a importantes obras civiles. En 1988, se identificaron cuatro importantes fallas: La Colina, Central Camionera, Chapultepec y la Paloma (Garduño *et al.*, 2001). En 1993 se observó la falla de Torremolino, además de una más en Cuautla y otra en Ventura Puente. Estas últimas empezaron movimientos a finales de la década de los 90 (Garduño *et al.*, 2001).

Las fallas la Colina, Central Camionera, Torremolino, Cuautla y Chapultepec obedecen a la sobreexplotación de los mantos acuíferos, al comportamiento mecánico de los suelos y a las

técnicas de extracción de agua (Garduño *et al.*, 2001). Se estima que la falla de la central camionera ha provocado un hundimiento de 80 cm desde 1983 al 2001; lo que significa que en promedio esta grieta produce un hundimiento de 5 cm anuales. La falla de Chapultepec se estima que también provoca un hundimiento anual de 4 a 5 cm, afectando a casas-habitación en tres colonias diferentes, un seminario, una escuela pública, varias calles, y avenidas (Garduño *et al.* 2001).

Aunque Cigna *et al.* (2012) encuentran que el movimiento máximo en la parte sur de esta falla es de 5 mm por año, al igual que en Cuautla. Garduño *et al.*, (2001) señalan a las fallas de Torremolino, Cuautla y Ventura Puente como menores y realizaron en una contabilización de 13, 5 y 3 casas respectivamente. Sin embargo, Cigna *et al.* (2012) estiman que la falla de Torremolino tiene un desplazamiento anual de entre 5 y 10 mm por año. Estas fallas no son sísmicas, solo obedecen a cambios en la estructura del suelo y pueden causar estragos en la estructura física de las viviendas y las obras civiles (Garduño *et al.*, 2001; Cigna *et al.*, 2012).

Por otro lado, en Morelia existen también fallas potencialmente sísmicas, entre las que están la Paloma, Cerritos y Cointzio. Las primeras dos se encuentran afectando la zona urbana de Morelia. En cuanto a la primera, se observan tres tipos de amenazas: sismo, caída de bloques, movimientos de masa tanto rotacionales (cuando la masa se desliza en una superficie cóncava) y como traslativos (cuando la masa se desliza en una superficie plana o más o menos ondulada) (Garduño *et al.*, 2001).

De acuerdo a diversos estudios (*v.gr.* Pola-Villaseñor *et al.* 2006, Garduño *et al.* 2001, Arreygue-Rocha *et al.* 2001), el desarrollo urbano en la zona ha producido una amenaza aún mayor, pues se han construido edificaciones donde inician los movimientos, quedando más expuestos a deslizamientos de rocas, desprendimiento de taludes y a movimientos sísmicos. Las investigaciones citadas encuentran que el nivel de hundimiento en esta zona es de 10 a 15 mm por año, con algunos puntos que exceden los 50 mm anuales (Cigna *et al.*, 2012), lo que las convierte en zonas de alta deformación aquellas, ya que presentan hundimientos por encima de los 5 mm anuales.

Echeverría *et al.* (2008) recuentan dos pequeños sismos ocurridos en 2007 que provocaron daños en estructuras civiles en la zona de la Paloma, lo que confirma el peligro en la zona. En

estos eventos varias casas resultaron dañadas, así como infraestructura (drenajes, pavimentos y tuberías en general). Los autores concluyen que estos daños son el resultado de la falta de procuración de la legislación vigente para cuidar las áreas protegidas del desarrollo urbano y de los propietarios de empresas de bienes raíces. Ávila *et al.* (2012) arriban a conclusiones similares al hacer un recuento detallado sobre el desmantelamiento de la legislación que protegía a la loma de Santa María de desarrollo urbano y vial, reforzando las amenazas latentes en ciertas zonas de la ciudad.

En cuanto a la falla La Colina, ésta se encuentra formada en una contrapendiente del cerro del Quinceo. En 1988, se determinó que si la ciudad continuaba creciendo hacia el sudoeste se verían afectadas las nuevas colonias (Garduño *et al.*, 2001). En 2001, se habían detectado fallas en cuatro colonias de esa zona, en las que incluso se han demolido dos edificios y se han reparado en diversas ocasiones varias casas habitación (Garduño *et al.*, 2001).

Los autores también señalan que en ciudades que son vulnerables a estos fenómenos, las obras civiles deben determinarse por estudios de geotecnia, ya que la mecánica de suelos no se considera un estudio suficiente para comprender o mitigar la exposición ante fallas activas (Garduño *et al.*, 2001). De acuerdo a Cigna *et al.*, (2012), esta zona presenta un hundimiento de 20 a 30 mm anuales con algunos puntos excediendo los 50 mm. Cigna *et al.*, (2012) concluyen que el hundimiento observado en diversos puntos de la es consecuencia de la sobreexplotación de los mantos acuíferos, especialmente en la falla de la Colina y la Central Camionera.

3.2.2. Inundaciones

La ciudad posee una larga temporada de lluvias que en algunas ocasiones ha resultado en inundaciones. Sin embargo, de acuerdo a los autores, este fenómeno se ha vuelto recurrente en los últimos 10 años. Hernández-Guerrero *et al.* (2012) estudian las inundaciones a las que está expuesta la población de las periferias de Morelia y analiza cómo es que la población responde y se adapta ante ellas. Históricamente, la población había sobrellevado estas inundaciones sin mayores repercusiones.

El incremento en la frecuencia aunado al crecimiento de la urbe desde hace varias décadas, ha provocado que nuevos desarrollos habitacionales, tanto formales como informales se

establezcan en la periferia. Hernández-Guerrero *et al.* (2012) estipulan que estos nuevos asentamientos se dieron en lugares que antes se utilizaban para actividades agropecuarias e incluso en algunos se secaron lagunas o fuentes de agua para permitir la construcción de viviendas. López *et al.* (2001) apuntan que las tierras de agricultura eran incluso de primera calidad.

Tras varias inundaciones que han afectado esta zona, la población en la periferia está considerada como una de las más vulnerables en este momento. Muchas de estas viviendas se encuentran en tierras irregulares y/o ilegales, por lo que tras las afectaciones, sus ocupantes no son sujetos de ayuda gubernamental (Hernández-Guerrero *et al.*, 2012).

La población de estas zonas enfrenta pérdidas totales o parciales de sus pertenencias y a daños de moderados a severos en sus viviendas. De acuerdo a los autores, las inundaciones están asociadas a la inapropiada construcción de viviendas en terrenos susceptibles a la inundación, ya sea por el otorgamiento de permisos para la construcción en zonas de alto riesgo sin previo conocimiento o con total indiferencia por parte de las autoridades ante las amenazas que enfrentan tales lugares. En este sentido, la población que recién arriba a la ciudad y se establece en la periferia es la más vulnerable ante este tipo de eventos, pues se establecen asentamientos precarios sin ninguna planificación y en numerosas ocasiones ocupando zonas naturales de recursos hídricos que son altamente susceptibles a inundaciones (Hernández-Guerrero *et al.*, 2012).

Arreygue-Rocha *et al.* (2004) modelan por medio del programa Hec – Ras las características morfológicas del canal del Río Chiquito cuyo cauce fue rectificado en 1937 con la finalidad de evaluar el desplazamiento del flujo del agua. Dichos autores sugieren que esta zona puede presentar depósitos de sedimentos y zonas de espesa cobertura vegetal dadas las características de la parte urbana del cauce en donde la pendiente disminuye. Estas características posibilitan la disminución de la capacidad hidráulica, es decir, dificultan el flujo del agua en el río, incrementando la posibilidad de inundaciones en zonas aledañas al curso del agua.

Por su parte, los cálculos realizados por Arreygue-Rocha *et al.* (2004) concluyen que los puentes establecidos a lo largo del Río Chiquito actúan como barreras para el flujo del agua, con lo que se facilita el desbordamiento del cauce en las zonas donde se encuentran. En 2007,

Arreygue-Rocha amplía su área de estudio, cubriendo una sub-cuenca de la cuenca de Coitzio. En su análisis, el autor señala que las inundaciones se han vuelto persistentes a partir de la década de los 1970, intensificándose a partir de 1997, debido al crecimiento desordenado de la mancha urbana sin ningún reconocimiento del territorio.

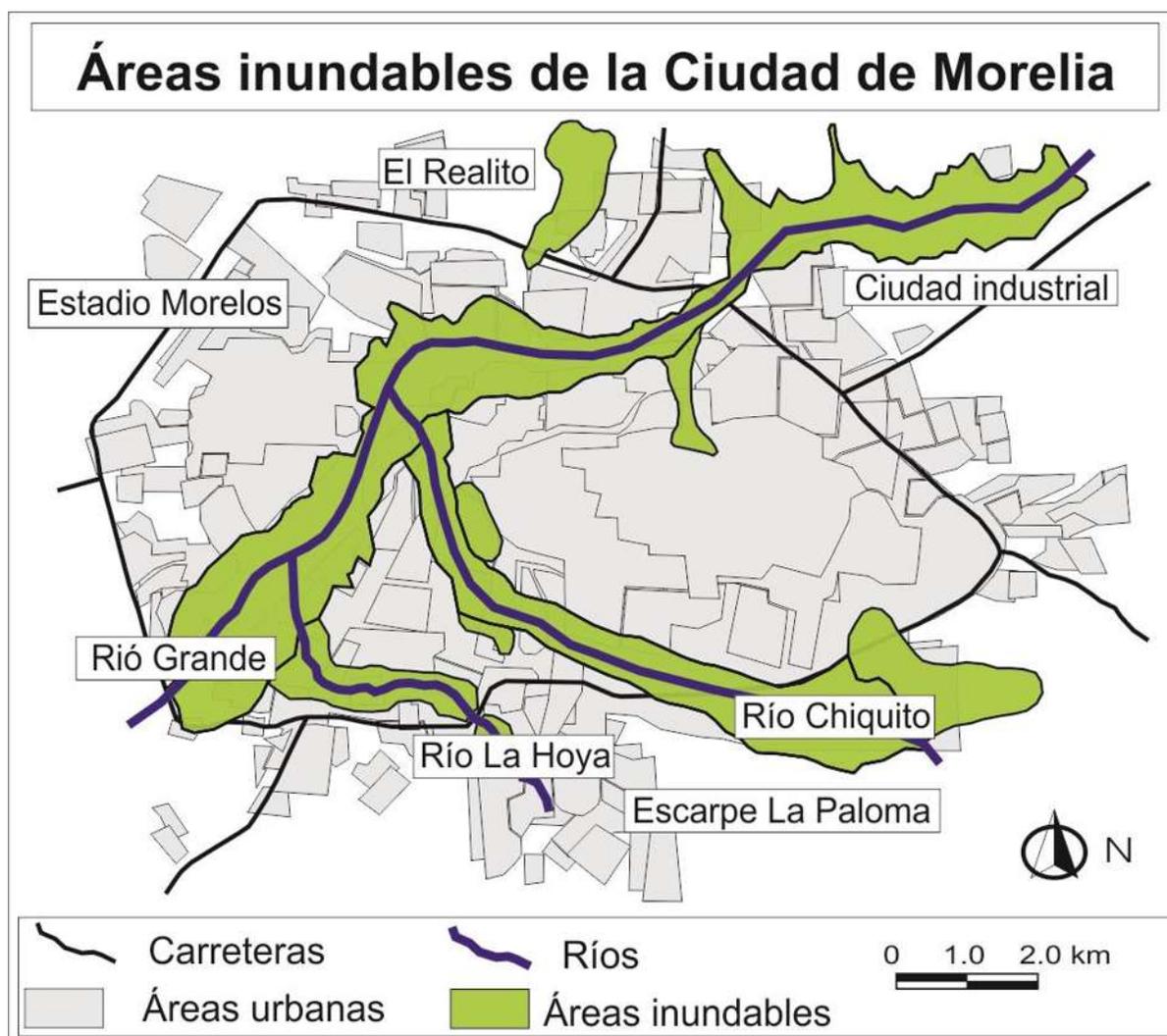
La figura 1, tomada de Arreygue-Rocha (2007), muestra las áreas inundables de la ciudad de Morelia de acuerdo a la modelación realizada. En una investigación con enfoque social, Hernández-Guerrero *et al.* (2012) determinan que el nivel educativo en la población de estas zonas es fundamental para implementar medidas de mitigación y/o adaptación que permitan lidiar con el problema.

3.2.3. Sequías

La ciudad de Morelia suministra el agua que consume de la subcuenca Pátzcuaro-Cuitzeo. Aproximadamente el 65 % del agua que se consume proviene de aguas subterráneas y el 35 % de mantos superficiales. De acuerdo a (Cigna *et al.*, 2012), se estima que debido al incremento poblacional, la disponibilidad de agua por habitante se reduzca de 4900 litros cúbicos por habitante en 1999 a 3500 en el 2025. Se espera que haya deficiencia en el suministro de agua en el corto plazo debido a la expansión de la mancha urbana, la sobre explotación de mantos acuíferos y la falta de planeación adecuada para salvaguardar la oferta del recurso y las áreas de recarga (Cigna *et al.*, 2012).

Si bien hasta ahora la falta de agua no ha sido un problema importante en la ciudad, la sobre-explotación de los mantos acuíferos que se ha registrado puede entenderse como una posibilidad en un futuro no inmediato. Garza (2007) da cuenta de una importante sequía en la ciudad a fines del siglo XVIII. Los rasgos históricos dan muestra de que la región ya ha sufrido de embates de este tipo, por eso son considerados en el presente estudio.

Gráfica 1. Áreas inundables de la Ciudad de Morelia



Fuente: Arreygue-Rocha, 2007.

Un fenómeno que propicia las sequías es la desertificación del suelo, la cual se inicia por la eliminación de la cobertura vegetal que provoca el sol caliente la superficie y quede el suelo quede expuesto a la erosión (PDCUM, 2004).

3.3. Documentos oficiales sobre amenazas

A nivel institucional, existen documentos referentes a la existencia de amenazas en la ciudad, así como planes de acción en caso de desastre. Entre estos, se encuentran los siguientes: el Plan de Fenómenos Hidro-meteorológicos de Michoacán 2013 (PFHM), el Atlas de Riesgo de

Morelia (ARM, 2005), y el Programa de Desarrollo Urbano del Centro Poblacional de Morelia (PDUCPM, 2004), con las modificaciones del 2010.

El PFHM es publicado por la Dirección Estatal de Protección Civil y tiene como principal finalidad prevenir y desarrollar la capacidad de respuesta antes, durante y después de un desastre (Dirección Estatal de Protección Civil, 2013). En este documento se describen los fenómenos hidrometeorológicos a los que está expuesto el estado de Michoacán, los recursos con los que dispone, así como un directorio de instituciones que colaboran a nivel estatal ante desastres. El plan señala algunas acciones que deben tomarse a nivel individual en caso de enfrentarse ante una situación de peligro y pone énfasis en la ciudad de Morelia de la que registra albergues y zonas de peligro por inundaciones, deslaves, afectación de techos y encharcamientos. Esta información es utilizada para la modelación-simulación del *estado-estable* de la ciudad de Morelia (Dirección Estatal de Protección Civil, 2013).

El ARM se enmarca en la estrategia del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) para incorporar tecnologías que permitan una mayor comunicación con la población sobre la prevención, las amenazas y la vulnerabilidad. El atlas incluye un simulador de los principales desastres y una base de conocimiento de impactos y acciones a través de sistemas de información geográfica (SIG) al que se puede acceder vía internet (Dirección Estatal de Protección Civil, 2005). Sin embargo, el acceso a esta información requiere del acceso a internet y conocimiento de sistemas de información geográfica para su entendimiento, lo que restringe al grupo de posibles usuarios. El acceso a imágenes finales en PDF está disponible a la población en medios masivos, a petición del público, y fue otorgada para el presente trabajo por personal de la Dirección Municipal de Protección Civil. Los mapas, sin embargo, no se encuentran actualizados.

CAPITULO IV

Estudio de la ciudad de Morelia

A partir de un enfoque de sistemas complejos coevolutivos (capítulo II) y las características de la población de interés (capítulo III), en el presente capítulo se detalla la modelación de la dinámica coevolutiva a partir de la cual se describe el estado estable de la ciudad y la simulación computacional que permite establecer escenarios sobre la generación de vulnerabilidad en la población de la ciudad de Morelia, Michoacán.

4.1. Modelación de los Sistemas Complejos Coevolutivos de interés

El modelo estado-estable o *steady-state* (Figura 4.1) representa el estado evolutivo actual del meta-sistema (un sistema compuesto a su vez de sistemas), en el municipio Morelia, Michoacán. El *steady-state* representa cambios lentos y estables en la dinámica del conjunto, por lo que se asume que no habrán cambios dramáticos en el corto o mediano plazo (Durlaff, 1997). El estado-estable será útil además, para predecir, con las limitaciones inherentes a la complejidad de los sistemas de interés, el estado futuro de dichos sistemas, así como identificar posibles puntos de palanca. Esto ayuda a modificar el comportamiento de los sistemas, haciéndolos menos vulnerables. Los puntos de palanca representan *insumos* relativamente pequeños de energía y/o materiales y/o información que provocan cambios dramáticos en el comportamiento de los sistemas de interés (Holland, 1996).

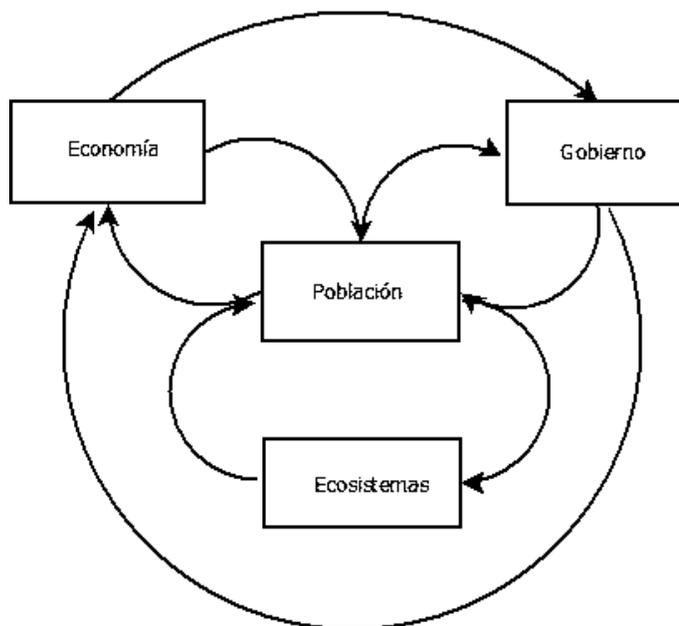
El estado actual de la vulnerabilidad ante eventos climatológicos extremos en el espacio de estudio (el municipio de Morelia, Michoacán) es estudiado a partir de diversas variables sociales y económicas reportadas por el INEGI y el CONEVAL. Debido al tipo de información disponible, en el modelo se tratan de manera igual a todos los grupos poblacionales sin tomar en cuenta la exposición específica de cada uno de ellos. Estudios similares han sido realizados con anterioridad (Cutter *et al.*, 2003, Birkmann, 2005) y se espera que la exposición pueda ser incorporada en estudios posteriores.

A partir de la información disponible a nivel municipal, se modeló el sistema de interés del presente estudio (Gráfica 2) que se encuentra en el centro de dicha figura: la población. Este sistema interactúa con los sistemas *Gobierno*, *Economía* y *Ecosistemas*. En la gráfica 2, cada sistema provoca o mitiga la vulnerabilidad de la población. La coevolución juega un papel primordial en dicha dinámica, ya que explica tanto la permanencia en atractores (estados) de vulnerabilidad como el alejamiento de los individuos de dichos estados.

La coevolución (sección 2.3) permite al individuo aprender de la información que resulta de la interacción con otros agentes y modificar su comportamiento como respuesta, así como incidir en el comportamiento de los agentes con los que interactúa.

En el modelo presentado en el actual estudio, la dinámica coevolutiva estudiada resulta en dos meta-atributos: la *Aptitud* y la *Flexibilidad*. Mientras mayores sean los niveles de *Aptitud* y *Flexibilidad* de los agentes, mayores posibilidades tendrán de coevolucionar en su entorno y más alejados estarán de estados-atractores de vulnerabilidad ante amenazas.

Gráfica 2. Dinámica de la vulnerabilidad.



Fuente: Elaboración propia.

Los sistemas Economía, Ecosistemas y Gobierno son tomados como caja negra, es decir, observado sin describir sus procesos internos, pues su inclusión total significaría todo un nuevo constructo que se pretende retomar en un estudio posterior.

4.1.1 Componentes de los meta-atributos *Aptitud* y *Flexibilidad*

En este apartado se desglosan los componentes del meta-atributo *Aptitud* (apartado 2.4) de los agentes de la población, los cuales interactúan para generar la dinámica coevolutiva de interés. Para conocer la dinámica coevolutiva de los agentes, se tomaron cuatro subsistemas que se describen en la tabla 3, que han sido incluidos en diferentes cuerpos académicos (ver anexo 1).

Tabla 3. Subsistemas.

Subsistemas	
Salud	Educación
Vivienda	Ingreso

Fuente: Elaboración propia.

El subsistema *Salud* hace referencia, en la *Aptitud* de los agentes a las condiciones físicas de los individuos. Algunos estudios indican que la población con enfermedades preexistentes es más vulnerable ante embates socio-económico-ambientales, que resultan en un aumento de la vulnerabilidad. La edad de los agentes, además, predispone de enfermedades y puede dificultar la movilización por lo que hay grupos de población más susceptibles que otros (Heinz Center for Science, Economics, and the Environment 2002, Cutter 2003, IFRC 2010). La *Flexibilidad* en este subsistema está evaluada a partir del acceso a servicios de salud por parte de los agentes. Aquellos agentes que cuenten con acceso a servicios médicos tendrán la posibilidad de sortear mejor una futura enfermedad.

En cuanto a la *Vivienda*, el acceso a servicios como agua, drenaje y energía eléctrica, así como una buena calidad de los materiales con los que está construida, permiten a la población acceder a condiciones mínimas de higiene y resguardarse de los elementos externos del ambiente (Heinz Center for Science, Economics, and the Environment 2002, IFRC 2010).

CONEVAL (2010) analiza dos aspectos básicos sobre la vivienda para determinar el tamaño de la población que habita espacios poco adecuados. El primero es la carencia de servicios básicos, medidos en base a las siguientes características:

- a) El agua se obtiene de un pozo, río, lago, arroyo o mediante acarreo desde otra vivienda o de la llave pública.
- b) No cuenta con drenaje, o el desagüe desemboca en un río, lago, mar, barranca o grieta.
- c) No disponen de energía eléctrica.
- d) El combustible que se utiliza para cocinar es leña o carbón sin chimenea.

El segundo aspecto es la carencia de calidad y espacios en la vivienda, para lo que CONEVAL (2010) considera que una vivienda no tiene calidad en los espacios de la vivienda en base a los siguientes criterios:

- a) El material de los pisos de la vivienda es de tierra.
- b) El material del techo de la vivienda es de lámina de cartón o desechos.
- c) El material de los muros de la vivienda es de embarro o bajareque; de carrizo, bambú o palma; de lámina de cartón, metálica o asbesto; o material de desecho.
- d) La proporción de personas por cuarto (hacinamiento) es mayor que 2.5.

Ambas condiciones proporcionan la *aptitud* en este subsistema. La *flexibilidad* está determinada por la ubicación de las viviendas con respecto a las zonas de peligro. Aquellas viviendas localizadas en zonas de peligro serán las más afectadas cuando un evento extremo suceda y las opciones de sus habitantes se verán reducidas en la recuperación (ver anexo 5). El número de viviendas en áreas de peligro se obtuvieron del Plan de Fenómenos Hidrometeorológicos de Michoacán (2013) y de los documentos académicos revisados en el apartado 3.2.1 de presente trabajo.

La *Ocupación* es el atributo que hace referencia al desempeño de alguna actividad económica remunerada por parte de los agentes. Aquellos que tengan edad para trabajar pero no lo hagan y dependan económicamente de ayuda externa, serán más vulnerables ante una amenaza que aquellos que sean su propia fuente de ingresos. Esta variable es una de las más recurrentes en las referencias bibliográficas consultadas; es una medida de la posibilidad que tiene una

familia de recuperarse de las pérdidas económicas que puedan tener ante un desastre. A un mayor nivel socio-económico, las personas tienen una mayor probabilidad de recuperar los bienes dañados o perdidos ante la ocurrencia de un fenómeno extremo y de asegurar sus bienes, lo que disminuye su vulnerabilidad (Cutter *et al.*, 2010, IFRC 2010, Cardona 2005, The Heinz Center 2002, Pandey *et al.*, 2010, Buch y Turcios 2003, Boli *et al.*, 2010, Hernández 2010, PNUD 2004). Por su parte, la Cruz Roja (IFRC, 2010) señala que los países con mayores ingresos son también aquellos en los que, generalmente la infraestructura está construida para resistir eventos extremos.

La *aptitud* en este subsistema se encuentra dada por el sector al que el agente se dedique y el nivel del ingreso. Los agentes que se dediquen al sector primario tienden a ser más susceptibles a embates de eventos climatológicos extremos que aquellos que se dediquen al sector secundario y terciario (ver tabla 7). El nivel de ingreso es medido a través del indicador de línea de bienestar de Coneval (2010). La línea de bienestar es trazada a partir de una canasta de bienes mínimos a la que un individuo debe tener acceso para satisfacer sus necesidades alimentarias y no alimentarias (ver anexo 5).

La *flexibilidad* está evaluada a partir de la diversificación de los ingresos. Aquellos agentes que tengan un nivel de ingresos diversificado tendrán una mejor oportunidad de mantener una fuente de ingresos cuando un evento extremo tenga lugar que aquellos que solo tengan una.

Este subsistema tiene una clara relación con el de *Salud* dado que un agente que tenga un nivel de ingresos bajo tiene mayores probabilidades de tener una alimentación deficiente y ser más propenso a enfermedades. De la misma manera tiene vinculación con el subsistema *Vivienda*, ya que a un nivel menor de ingresos los agentes tendrán menos posibilidades de elegir una vivienda en zona de poco riesgo, que pueden ser sensiblemente más económicas o incluso de materiales inadecuados.

Por su parte, la *Educación* es el subsistema que estudia la posibilidad que tienen los agentes de, por un lado, acceder a un mejor nivel de vida; y por otro, la capacidad de entendimiento de información relacionada con las amenazas del entorno, los sistemas de prevención y los medios de recuperación que pueda brindar el gobierno en caso de desastre (Cutter *et al.* 2010; Heinz Center for Science, Economics, and the Environment 2002; Buch y Jiménez 2004).

El subsistema *Educación* toma en cuenta los niveles obtenidos como medida de los meta- atributos *aptitud* y *flexibilidad*. Para la *aptitud*, a mayor nivel obtenido, menor nivel de vulnerabilidad. La *flexibilidad* es evaluada a partir de la acumulación de habilidades y conocimientos que un agente logre en su vida. Esto es, un agente será más flexible si tiene una carrera técnica y una licenciatura que aquél que sólo tenga una licenciatura. En caso de desastre, el primero aún si pierde su trabajo tiene dos habilidades distintas con las que se puede hacer frente a la situación (ver anexo 3 y 4).

Para el presente estudio, se toma en cuenta el índice de rezago educativo del CONEVAL (2010) para señalar a los agentes que son más vulnerables. Este concepto toma en consideración los siguientes criterios:

- a) Población de tres a quince años sin educación obligatoria que no asiste a un centro formal de educación.
- b) Población nacida antes de 1982 sin el nivel de educación obligatorio vigente (primaria completa).
- c) Población nacida después de 1982 sin el nivel de educación obligatorio vigente (secundaria completa).

En el modelo, las *entidades gubernamentales* (EGs) son las responsables de generar información que indique a la población las amenazas que le rodean, así como medios de prevención y recuperación que puedan estar a su alcance y que son complementarias al nivel educativo de una población, ya que aunque la población tenga altos niveles educativos, si no existe información que los alerte sobre las amenazas que los rodean no podrán tomar decisiones que los haga menos vulnerables ante fenómenos extremos. Es necesario, que la tarea de investigación sea complementada con la difusión masiva de los resultados, para que pueda tener efecto en la coevolución de los agentes.

Cuando ocurre un desastre, las EGs deben también actuar implementando programas que ayuden a la recuperación de la sociedad lo más rápido posible y de la mejor manera. La ejecución de programas como el DN-III del ejército mexicano y el plan Marina son excelentes apoyos para una comunidad que se enfrenta a un desastre provocado por fenómenos eco-ambientales. Este tipo de sostén mitiga la vulnerabilidad de la población (SEGOB, 2004).

Los *ecosistemas*, por su parte, son definidos en el modelo como vulnerables ante amenazas eco-ambientales, generando por su parte amenazas a los sistemas sociales. Los ecosistemas se consideran *aptos* cuando su capacidad de regeneración es mayor al impacto causado por las actividades humanas. Además, si esta capacidad de regeneración (relacionada con la biodiversidad) les permite continuar prestando los servicios ecológicos, entonces el ecosistema se considera también *flexible*.

De acuerdo a la ONU (2004) la degradación de los ecosistemas incrementa la intensidad de las amenazas eco-ambientales, y con frecuencia es un factor determinante en la generación de desastres. Por ejemplo, la crecida de los ríos y lagos es generalmente empeorada por la deforestación, que produce erosión y obstruye el caudal de los ríos. Este fenómeno puede provocar inundaciones sobre todo en viviendas ubicadas al margen de los cuerpos de agua (ONU, 2004).

4.2. Los agentes y su dinámica coevolutiva

El presente estudio sugiere que el sistema de interés es Complejo Coevolutivo debido a que existen relaciones no lineales entre los agentes y las variables que conforman la vulnerabilidad ante eventos climatológicos extremos. Para poder representar tales interacciones se desarrolló un ejercicio de modelación-simulación basada en agentes (Gilbert y Troitzch, 1999). En este apartado se describe la dinámica coevolutiva que interviene la generación de vulnerabilidad de la población de la ciudad de Morelia, Michoacán, basado en la revisión de las variables realizada en el apartado anterior (sección 4.1.1).

4.2.1. Agentes del sistema población

Para el presente estudio se decidió considerar a la población del municipio de Morelia tomando en cuenta la definición de pobreza y los resultados del CONEVAL (2010). Esto debido a que la población más pobre es generalmente la más vulnerable ante eventos climatológicos extremos (Cutter *et al.* 2003, UNDP 1994, Beck 2002). A través de los diagramas de comportamiento se describen los niveles de vulnerabilidad de los agentes del sistema *Población* de acuerdo a los meta-atributos *aptitud* y *flexibilidad*.

Subsistema Ocupación

La figura 3 muestra el subsistema *ocupación*, en el que se evalúa la *flexibilidad* del agente de acuerdo a la diversificación de sus ingresos, aquellos individuos que obtengan ingresos de dos o más empleos tendrán mejores oportunidades de seguir obteniendo una remuneración en caso de presentarse un desastre. La *aptitud* está medida por dos factores. El primero está relacionado con el sector al que se dedica; así, los agentes que se dedican al sector primario tienden a ser más susceptibles a embates de eventos extremos. El segundo factor es el nivel de ingreso. Aquellos agentes que tengan un ingreso por debajo de la línea de bienestar serán más vulnerables que aquellos que no.

Los agentes que obtengan sus ingresos de diferentes fuentes, trabajen en el sector secundario o terciario, y que su ingreso esté por encima de la línea de bienestar, tendrán un nivel de vulnerabilidad baja, que matemáticamente será igual a 0.

Los agentes que obtienen su ingreso de diferentes fuentes, trabajan en el sector secundario o terciario, y su ingreso se encuentre por debajo de la línea de bienestar, tendrán una vulnerabilidad media, al igual que aquellos que aún con ingresos diversificados trabajen en el sector primario y su ingreso esté por encima de la línea de bienestar. Este nivel de vulnerabilidad matemáticamente se le otorga un 0.25.

Los agentes que diversifiquen sus ingresos, se dediquen al sector primario y su nivel de ingresos se encuentre por debajo de la línea de bienestar tendrán un nivel de vulnerabilidad media alta. Este mismo nivel es obtenido por aquellos agentes que no diversifican sus ingresos, se dedican al sector secundario o terciario, y su ingreso se encuentra por encima de la línea de bienestar. A este nivel se le otorga un grado de vulnerabilidad de 0.50.

Los agentes que no tengan ingresos diversificados, se dediquen al sector secundario o terciario y su ingreso esté situado por debajo de la línea de bienestar, tendrán un nivel de vulnerabilidad alto. Este grado es también obtenido por aquellos agentes que obtienen sus ingresos de una sola fuente, se dedican al sector primario y su nivel de ingreso está por encima de la línea de bienestar. A este nivel de vulnerabilidad se le da 0.75.

Los agentes que no diversifican, se dedican al sector primario y su ingreso está por debajo de la línea de bienestar son considerados como vulnerables extremos. Este nivel de

vulnerabilidad obtiene el grado máximo en la escala presentada en la presente investigación con un 1.

El atributo del nivel de ingreso tiene relación con los subsistemas *Salud y Vivienda* (apartado 4.1.1). Los agentes que tengan un nivel de ingreso por encima de la línea de bienestar mitigan patrones de vulnerabilidad en los subsistemas *Salud y Vivienda*, ya que poseen mayores recursos para obtener una buena alimentación y habitar una vivienda con una mejor calidad en sus materiales y espacios.

Subsistema Salud

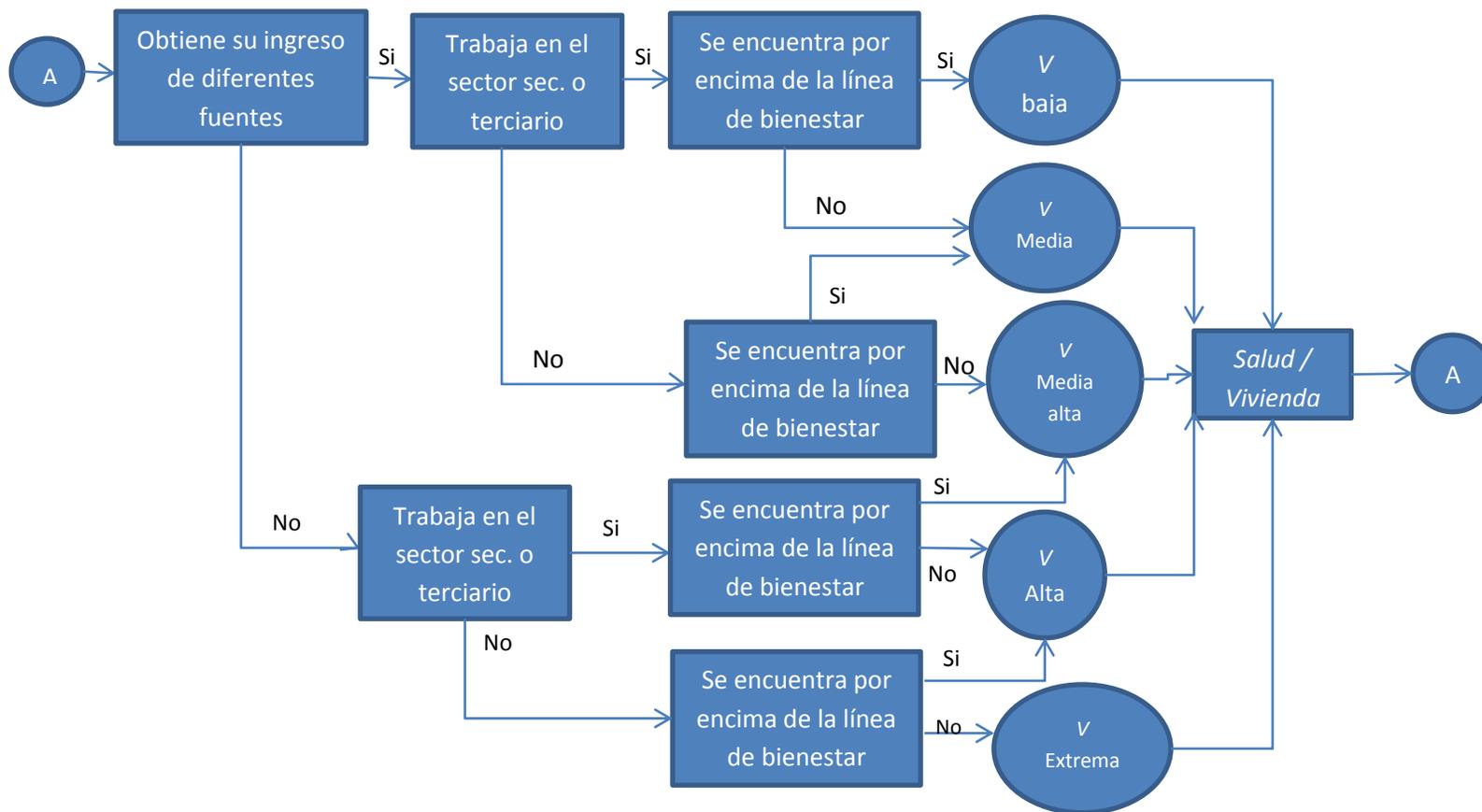
La figura 4 muestra el diagrama de comportamiento del subsistema *Salud*. En primer lugar se evalúa la *flexibilidad* en el acceso a los servicios de salud. Después se analiza la *aptitud* a través de dos atributos: la discapacidad del agente, y la edad (apartado 4.1.1). Aquellos agentes que tengan una enfermedad o una condición incapacitante o se encuentren en un rango de edad menor a seis años o mayor a sesenta son considerados más susceptibles a contraer enfermedades o incluso a tener problemas de movilidad en caso de ocurrir un desastre.

Aquellos agentes que sean derechohabientes de una institución de salud, no tengan discapacidades y tengan entre seis y cincuenta y nueve años son considerados en un nivel de vulnerabilidad baja. Matemáticamente se les asigna un valor de cero.

A los agentes que tengan acceso a los servicios de salud, no tengan discapacidades, pero tengan menos de seis años o más de cincuenta y nueve, son clasificados en una vulnerabilidad media. Este nivel también es obtenido por aquellos que sean derechohabientes de servicios de salud, presenten alguna discapacidad, y su rango de edad se encuentre entre los seis y los cincuenta y nueve años. A este nivel se le otorga un valor de 0.25.

Los agentes que siendo flexibles, tengan alguna discapacidad y tengan menos de seis años o más de sesenta son considerados en un grado de vulnerabilidad media alta. Este rango también es alcanzado por aquellos agentes que no tengan acceso a los servicios de salud, estén libres de discapacidad y se encuentren en un rango de edad entre los seis y los cincuenta y nueve años. En este grado se les asigna un valor de 0.50.

Gráfica 3. Diagrama de comportamiento de los agentes. *Ocupación.*



Fuente: Elaboración propia.

Los agentes que no cuenten con flexibilidad, se encuentren libres de discapacidad y su rango de edad sea menor de seis años o mayor de sesenta, se les asigna un nivel de vulnerabilidad alto. Este nivel también es asignado a aquellos que no cuenten con acceso a servicios de instituciones médicas, no se encuentren libres de discapacidad y tengan entre seis y sesenta años de edad. A este rango de edad se le valora como 0.75.

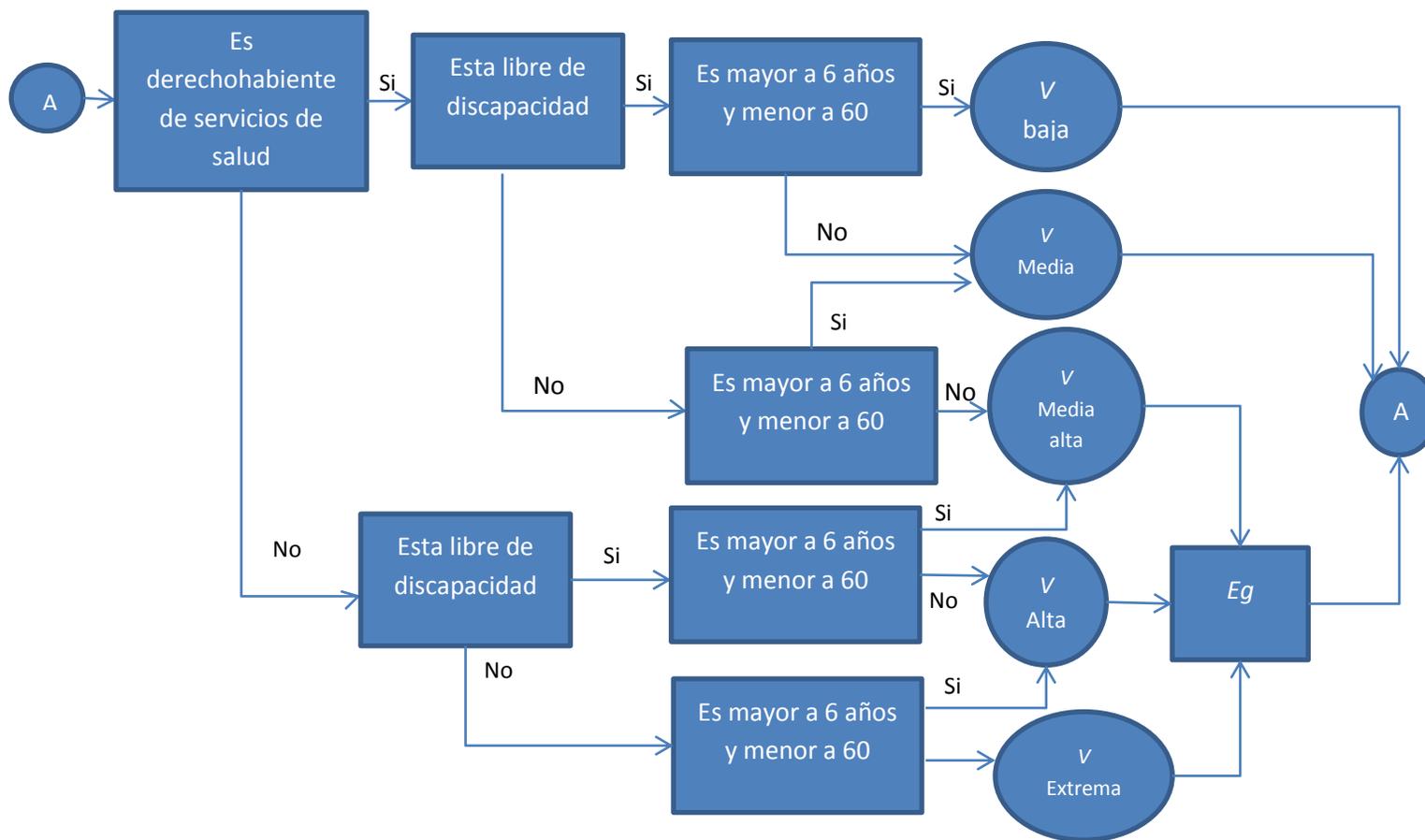
El grado de vulnerabilidad extrema es asignado a los agentes que no tienen ni *flexibilidad*, ni *aptitud*. Es decir, a aquellos que no cuentan con servicios de salud, tienen alguna discapacidad y tienen menos de seis o más de sesenta años. Los agentes que se encuentren en grados de vulnerabilidad medio alto, alto y extremo generan más presión en las *Entidades Gubernamentales* para que les sean brindados servicios médicos.

Subsistema Vivienda

La figura 5 muestra el diagrama de comportamiento de los agentes en el subsistema *Vivienda*. Este subsistema toma en cuenta la ubicación de la vivienda como atributo de la *flexibilidad*, aquellas que se ubiquen en zonas libres de amenazas tienen mayores opciones de recuperación tras un desastre. Por su parte, el acceso a los servicios públicos y a una vivienda de buena calidad en sus espacios y sus materiales son atributos que contribuyen a la *Aptitud* (apartado 4.1.1). Los agentes que habiten en una zona libre de peligro, cuenten con una vivienda que tenga acceso a los servicios públicos y buena calidad en los materiales de construcción estarán ubicados en un nivel de vulnerabilidad bajo, y tendrán asignados un valor de cero.

Los agentes que vivan en una zona libre de peligro, tengan acceso a todos los servicios, pero su vivienda no cuente con calidad en sus materiales y espacios, tendrán un nivel de vulnerabilidad medio, con un valor de 0.25. Este mismo nivel es asignado a los agentes que vivan en zonas libres de peligro, no tengan acceso a los servicios públicos y su vivienda tenga buena calidad en los materiales de su construcción.

Gráfica 4. Diagrama de comportamiento de los agentes. *Salud*.



Fuente: Elaboración propia.

Los agentes que vivan en una zona libre de peligro, no cuenten con acceso a todos los servicios, y su vivienda no esté construida con materiales de buena calidad tendrán un nivel de vulnerabilidad medio alto. Este mismo nivel es obtenido por aquellos que vivan en zonas de peligro, con acceso a todos los servicios públicos y también cuenten con materiales y espacios de buena calidad. El valor de este nivel es de 0.50.

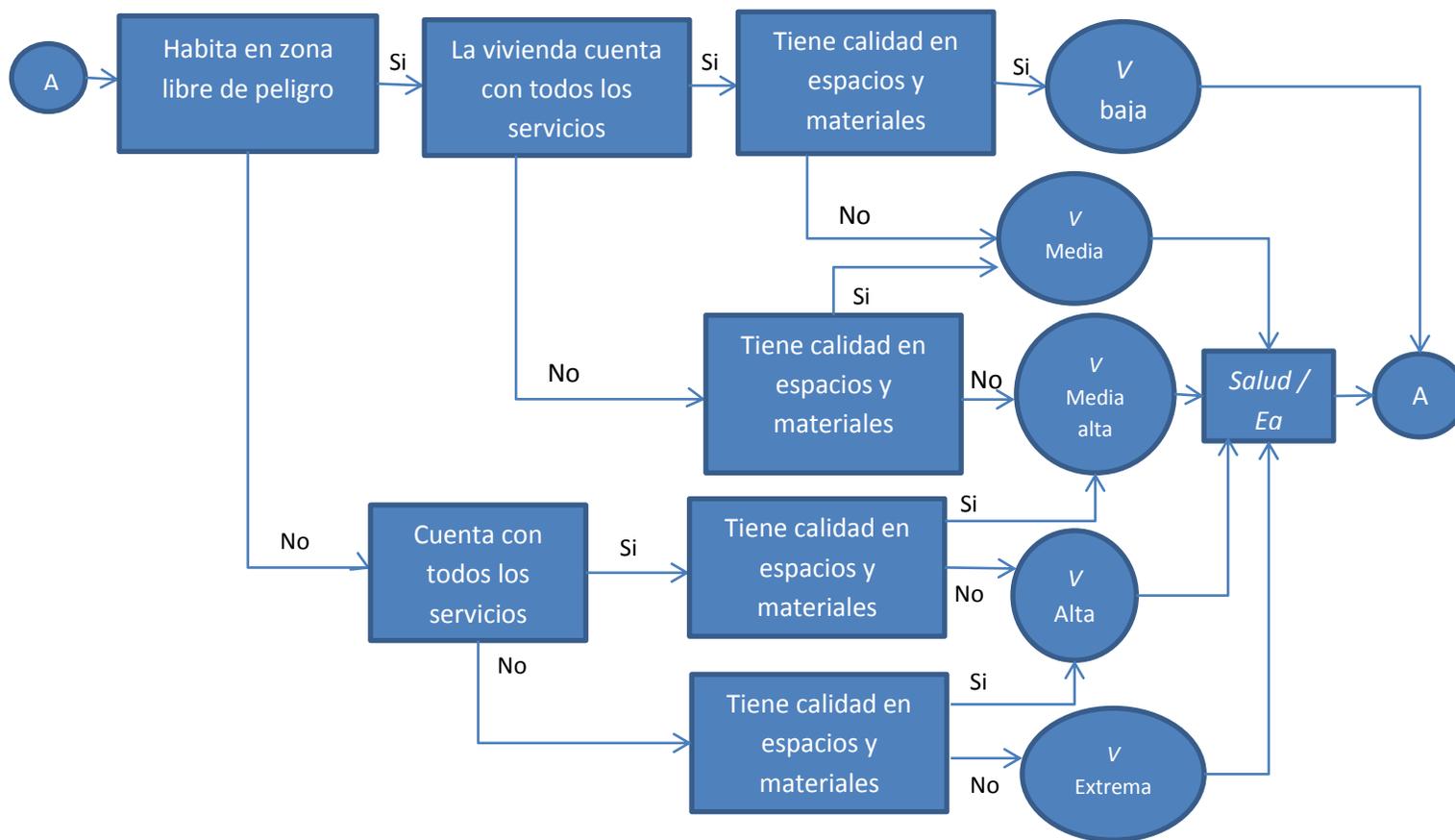
Aquellos que vivan en zonas de peligro, tengan acceso a servicios públicos pero su vivienda no cuente con materiales de buena calidad son clasificados con un nivel alto de vulnerabilidad. Esto también ocurre con los agentes que no tienen *flexibilidad*, no tienen acceso a los servicios públicos pero los espacios y materiales son de buena calidad. A este nivel se le asigna un valor de 0.75.

Para los agentes que no viven en zona de peligro, no tienen acceso a todos los servicios públicos y los materiales de construcción de su vivienda no son de buena calidad, son considerados como vulnerables extremos y se les otorga un valor de 1. Los agentes que habiten en viviendas construidas con materiales de mala calidad generan patrones de vulnerabilidad en el subsistema *Salud*, ya que dichos habitantes están más propensos a contraer enfermedades relacionadas con los cambios de clima y con los materiales utilizados para la construcción de sus viviendas. Los agentes que habitan viviendas sin acceso a los servicios públicos generan presión a las *Entidades Gubernamentales* para obtener dichos servicios.

Subsistema Educación

En la figura 6 se puede observar el diagrama de comportamiento del subsistema *educación*, en el que ambos meta-atributos *flexibilidad* y *aptitud* son evaluados a partir del nivel de escolaridad obtenido por los agentes abarcando dos escalas. La *aptitud* es estudiada en base al nivel máximo obtenido: a mayor nivel de escolaridad mayor será su aptitud para lograr mejorar su nivel de vida y mejor será su entendimiento sobre las amenazas del entorno y sobre los planes de recuperación para enfrentar desastres.

Gráfica 5. Diagrama de Comportamiento de los Agentes de Población. *Vivienda*.



Fuente: Elaboración propia.

La *flexibilidad*, por su parte, se evalúa a partir de la acumulación de conocimientos y habilidades por parte de los agentes. Aquellos que tengan una carrera técnica y una licenciatura tendrán más opciones de empleos que aquellos que sólo tengan un diploma, sobre todo tras el embate de un evento climatológico extremo.

Los agentes que tengan un posgrado tendrán un nivel de vulnerabilidad baja (valor = cero). Los agentes que hayan culminado una licenciatura se encontrarán en un grado de vulnerabilidad medio con un valor de 0.25. Aquellos que tengan estudios técnicos o la preparatoria terminada tendrán un nivel de vulnerabilidad medio alto con un valor de 0.50. Los agentes que hayan terminado la educación básica pero no tengan estudios técnicos, ni preparatoria terminada, tendrán un nivel de vulnerabilidad alto y les será asignado un 0.75. Los agentes que no tengan educación básica terminada (de acuerdo a la fecha de su nacimiento, sección 4.1.1) estarán en un nivel de vulnerabilidad extremo con un nivel de 1.

El subsistema *Educación* está estrechamente relacionado con el subsistema *Ocupación*. Así, los agentes que están en niveles de vulnerabilidad extremo y alto en *Educación* producen patrones de vulnerabilidad en el de *Ocupación*. Por el contrario, niveles medio alto, medio y bajo mitigan patrones de vulnerabilidad en *Ocupación*, ya que a mayor nivel educativo, mayor posibilidad de obtener un empleo mejor remunerado.

4.2.2. Agentes del sub-sistema *Entidades gubernamentales*

Las *entidades gubernamentales* contribuyen a la generación y/o mitigación de la vulnerabilidad ante eventos climatológicos extremos de acuerdo a los servicios que presten, tal como se puede observar en la figura 4.6. Las *entidades gubernamentales* deben proveer servicios de educación y salud que mitigan la vulnerabilidad de los agentes siempre y cuando tales servicios sean de buena calidad y estén al alcance de la población en general. Si alguna de estas condiciones no se cumpliera, las entidades estarían produciendo vulnerabilidad en el sistema. La calidad, sin embargo, es un atributo que no tiene expresión en indicadores que puedan ser utilizados en la medición, por lo que no ha podido ser tomado en cuenta para la presente investigación.

Otra de las funciones de las *entidades gubernamentales* en el modelo es la de generar información relacionada con las amenazas a las que esté expuesta la población y difundirla

masivamente para que sea accesible al mayor número de agentes posible. Esta acción mitiga la vulnerabilidad. Si alguna de estas condiciones no se cumple, el gobierno estaría generando condiciones de vulnerabilidad.

Si un fenómeno climatológico extremo produjera un desastre, las entidades gubernamentales implementan programas de ayuda y recuperación como el plan DN-III del Ejército Mexicano, y el Plan Marina, entre otros. Si esto se cumple, las *EGs* disminuyen los niveles de vulnerabilidad a la que está expuesta la población, de lo contrario estarían propiciando desastres mayores.

4.2.3. El sub-sistema *ecosistemas*

Como se mencionó anteriormente (apartado 4.1.1), los ecosistemas son considerados como vulnerables, y como generadores de amenazas a los agentes. Si el *Ecosistema* genera amenazas latentes se considera que es vulnerable pues también es afectado por las amenazas que genera. Los ecosistemas son receptores del impacto de las actividades humanas, si dicho impacto es menor a su capacidad de auto-regeneración se denomina apto.

Si además de ser apto, el ecosistema tiene la viabilidad para continuar prestando los servicios ambientales en el futuro, entonces se define como flexible. La heurística del subsistema *Ecosistemas* se detalla en la gráfica 7.

4.3. La modelación de la vulnerabilidad

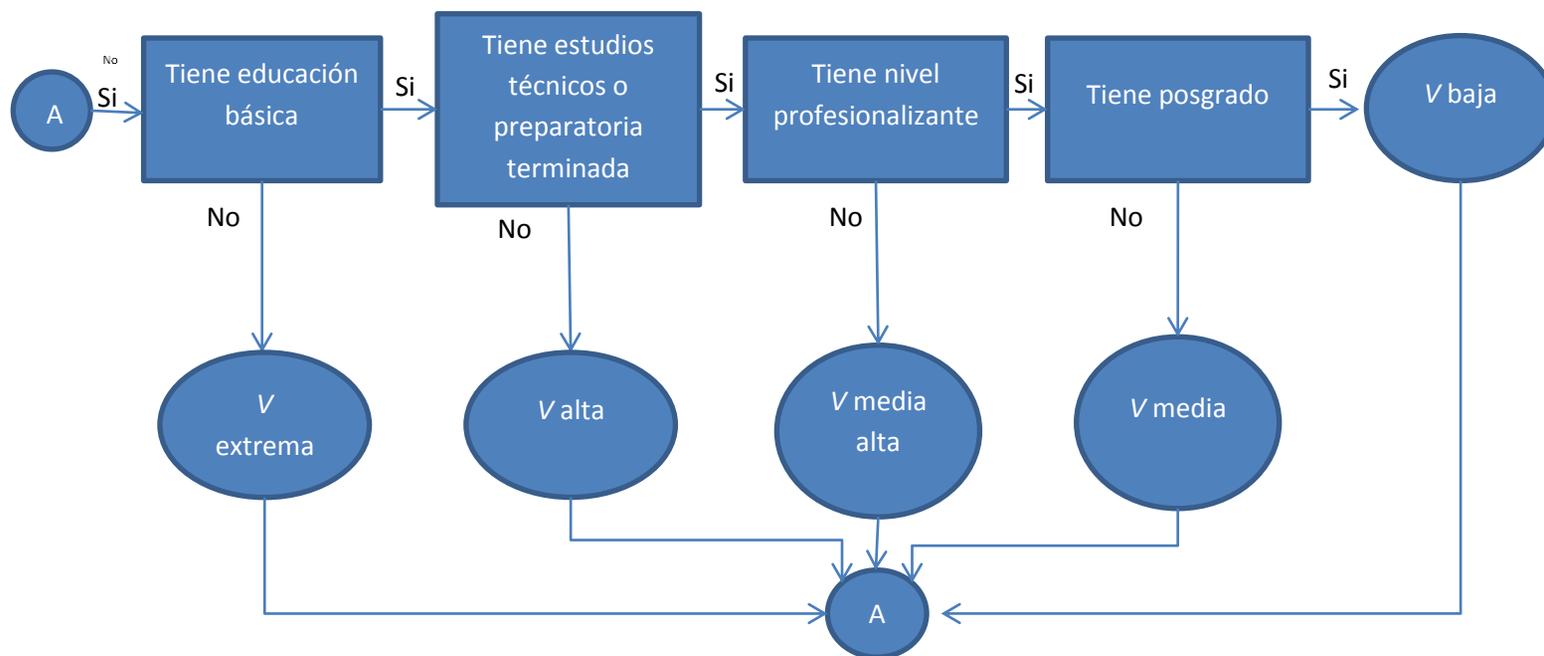
En este apartado se describe la modelación de la vulnerabilidad de los agentes que representan a la población de interés en la ciudad de Morelia. De acuerdo a CONEVAL (2010), la distribución de la población porcentual por estrato económico en Morelia se encuentra descrita en la tabla 4. De acuerdo con INEGI, la población total de la ciudad de Morelia fue de 729 279 habitantes en 2010, siendo este número en el que se basa el presente estudio.

Tabla 4. Distribución porcentual de la población por estrato económico de Morelia, Michoacán 2010

Pobres moderados	Pobres extremos	No pobres
32.1	5.9	62

Fuente: Coneval, 2010.

Gráfica 6. Diagrama de Comportamiento de los Agentes de Población. *Educación.*



Fuente: Elaboración propia.

4.3.1. Atributos y comportamiento de los Agentes

Según el CONEVAL (2010), una parte importante de la población de la ciudad de Morelia se encuentra en condiciones de pobreza. Al ser el estudio del 2010, el único que el Consejo ha obtenido con resultados a nivel municipal, es difícil conocer si la condición de pobreza en la urbe ha cambiado. Sin embargo, a nivel estatal, tanto la pobreza moderada como la pobreza extrema han aumentado, de .9 % y 8.8 % respectivamente de 2010 a 2012.

4.3.1.1. Subsistemas

En el modelo *estado-estable* o *steady-state*, el cual sirve de base para la simulación, los agentes toman decisiones en base a sus atributos y a las oportunidades a las que tienen acceso en su entorno. El *steady-state* representa el status-quo del sistema de interés, describiendo la dinámica del mismo en el supuesto de que dicha dinámica no cambie. El entorno está representado por los siguientes subsistemas del sistema *Población*.

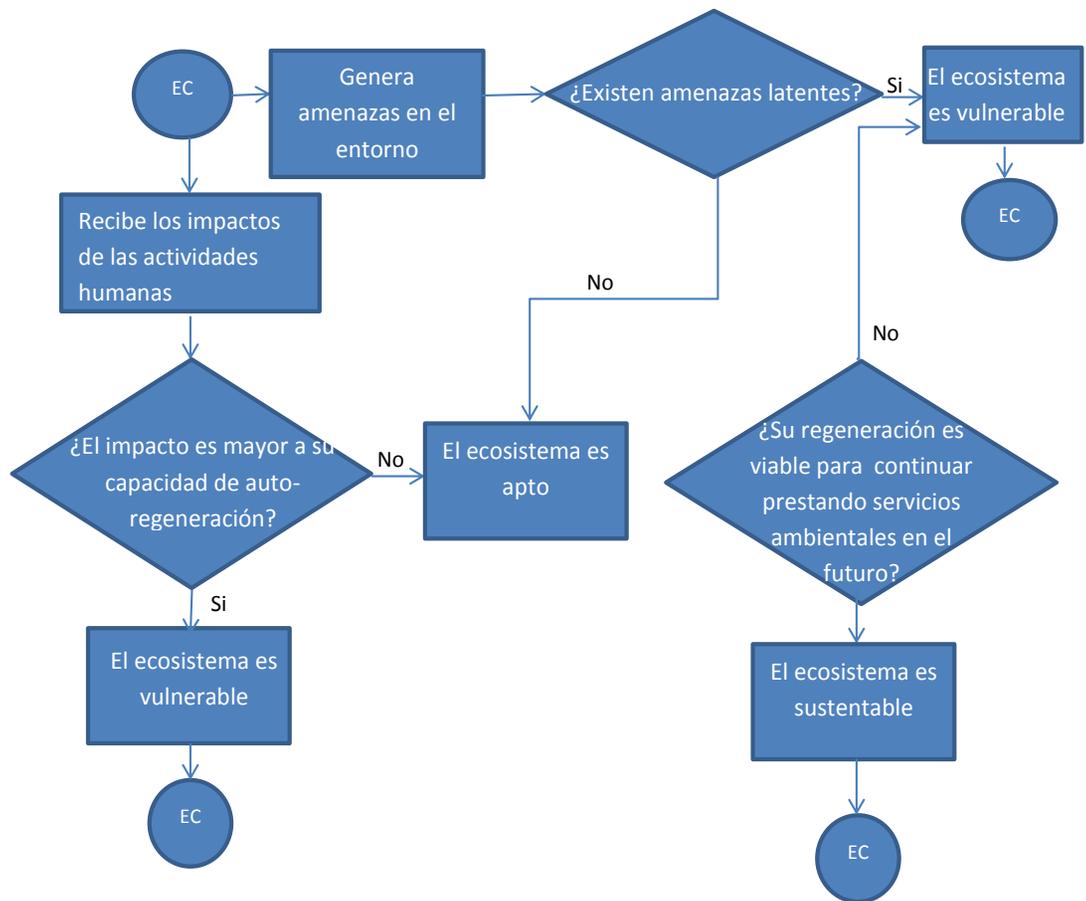
1. Ocupación.
2. Vivienda.
3. Salud.
4. Educación.

A continuación se explicarán cada uno de los subsistemas y sus atributos, así como la contribución de éstos a los meta-atributos *Aptitud* y *Flexibilidad*.

a) Ocupación

El estudio de la Ocupación en el modelo se enfoca en dos aspectos importantes. El primero está relacionado con la clasificación de agentes en dos grupos: aquellos que dependen directamente de los ecosistemas para subsistir y aquellos que poseen un empleo remunerado no relacionado directamente con el subsistema *Ecosistema*. De acuerdo a la ONU (2004), la degradación de los ecosistemas incrementa la vulnerabilidad de la población que los habita. Así, si el agente depende del sector primario, se considera más susceptible a embates de eventos extremos que aquellos que trabajen en el sector secundario o terciario.

Gráfica 7. Heurística de los Ecosistemas.



Fuente: Elaboración propia.

El segundo aspecto en el análisis de la ocupación es el nivel de ingreso de los agentes, el cual está relacionado con la posibilidad de adquirir bienes básicos como alimentación, servicios de salud y de educación para sí mismo y su familia, utilizándose la línea de bienestar de CONEVAL (2010) (apartado 4.1.1) para clasificar a los agentes de acuerdo a ella. Ambos aspectos contribuyen a la *Aptitud* de los agentes.

Por su parte, la *Flexibilidad* es evaluada a partir de la diversificación de los ingresos. Aquellos agentes que reciban remuneraciones de dos fuentes diferentes son considerados flexibles.

Una vez obtenidos los datos, el modelo asigna grados de vulnerabilidad a los agentes. De las distintas combinaciones de estos parámetros se obtiene una clasificación de cinco categorías en la escala de vulnerabilidad: vulnerabilidad extrema, vulnerabilidad alta, vulnerabilidad media alta, vulnerabilidad media, vulnerabilidad baja. Aquellos que cuenten con fuentes inestables e insuficientes de ingreso o se dediquen al sector primario serán más vulnerables.

La determinación de los agentes cuya remuneración no sea suficiente para adquirir bienes básicos puede encontrarse fácilmente en la descripción de pobreza del CONEVAL (2010). La pobreza es declarada como el estado en el que el ingreso se encuentra por debajo de la línea de bienestar. La línea de bienestar describe una canasta básica de acuerdo a parámetros establecidos dentro del estudio del Consejo y representa bienes esenciales para la subsistencia de los agentes. La población cuyo ingreso sea menor al necesario para adquirir esta canasta se consideran en pobreza.

Dentro de la población en pobreza, el CONEVAL describe una clasificación más para la que utiliza la línea de bienestar mínimo que se refiere al nivel de ingreso que un agente necesita tener para poder acceder a una alimentación adecuada. En caso de que el total del ingreso no le permitiera siquiera una alimentación adecuada, el individuo se encuentran por debajo de esta línea y si tienen tres o más carencias sociales se consideran pobres extremos (CONEVAL, 2010).

La información de la tabla 5 describe la población en pobreza y en pobreza extrema en el municipio de Morelia en el 2010 de acuerdo a CONEVAL. De acuerdo a los resultados del Consejo, el 44.1 % de la población vive en pobreza en el municipio y el 10.2 % no tiene un ingreso que le permita acceder a una alimentación apropiada.

Tabla 5. Población con ingreso inferior a la línea de bienestar y línea de bienestar mínimo en Morelia, Michoacán, 2010.

Municipio	Población con ingreso menor a la línea de bienestar	Población con ingreso menor a la línea de bienestar mínimo	Población con más de tres carencias sociales
Morelia	44.1	10.2	28.7

Fuente: CONEVAL, 2010.

La tabla 6 muestra la población económicamente activa sin grados aprobados en carreras para el año 2010, es decir, la población que trabaja sin tener una educación profesionalizante. De acuerdo a esta información, más de la mitad de la población económicamente activa no posee educación profesionalizante y por ende, tiene posibilidades limitadas de acceder a un mejor nivel de ingreso.

Tabla 6. Población Económicamente Activa sin grados aprobados en carreras, 2010.

Municipio	Población total de 12 años y más	Población de 12 años y más Económicamente Activa	Población económicamente activa de 12 años y más sin grados aprobados en carreras
Morelia	560 739	310 305	198 379

Fuente: INEGI, 2010.

En la tabla 7 se describe la distribución porcentual de la población económicamente activa en la ciudad de Morelia por sector de actividad. Los únicos años para los que se encuentra disponible dicha información son 2003 y 2004, ya que es una serie que no se actualiza. Sin embargo, la información disponible nos permite observar parámetros referenciales para el presente estudio. Esta serie permite conocer el porcentaje de la población que se dedica al sector primario, y que por ende, depende de los ecosistemas directamente para su subsistencia (INEGI, 2004). De acuerdo a la información obtenida, un porcentaje muy pequeño de la población dependía del sector primario en el municipio de Morelia, Michoacán, mientras que un porcentaje muy alto se dedica al sector servicios.

a) Vivienda

Tal como se puede observar en el diagrama de comportamiento de los agentes población, la vivienda se estudia desde dos perspectivas importantes. La primera es su acceso a servicios públicos como luz, agua y drenaje. La segunda incluye la resistencia de los materiales de construcción ante los ecosistemas.

Tabla 7. Distribución porcentual de la población activamente ocupada por rama de actividad económica en Morelia.

Año	Total	Agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca	Industria extractiva y de la electricidad	Industria de la transformación	Construcción	Comercio	Servicios	Comunicaciones y transportes	Gobierno
2003	100	1.4	0.8	11	8.7	24	38.6	6.3	9.4
2004	100	1.1	0.5	9.4	8.4	24.4	40.1	6.7	9.5

Fuente: Encuesta Nacional de Empleo Urbano (ENUE) 2003, 2004, INEGI.

CONEVAL (2010) clasifica a la población en situación de carencia en base a cuatro criterios por calidad y espacios de la vivienda: 1) si el material de los pisos es de tierra; 2) si el material del techo es de lámina o cartón, 3) si el material de los muros de la vivienda es de barro o bajareque; de carrizo, bambú o palma; de lámina de cartón, metálica o asbesto; o material de desecho; 4) si la proporción de personas por habitación es mayor a 2.5. Esta información está descrita en la tabla 8, en donde se muestra un total de 100,213 personas viviendo en domicilios carentes de calidad de materiales y de espacios en el municipio.

Tabla 8. Población con carencia por calidad y espacios de la vivienda en Morelia.

Municipio	Población	Carencia por calidad y espacios de la vivienda
Morelia	882 281	100 213

Fuente: CONEVAL, 2010.

b) Salud

En el modelo del presente estudio, la salud se toma como un subsistema que toma en cuenta la existencia de condiciones de enfermedad críticas, la edad y el acceso a los servicios de salud. Tras la ocurrencia de un fenómeno extremo en el ecosistema (véase apartado 4.3), los agentes con condiciones de salud graves pueden requerir una mayor atención médica o incluso tener dificultades de movilidad, por lo que son tratados en el modelo como altamente vulnerables, aunque esta información no se encuentra disponible a nivel municipal.

La población menor a 6 años y mayor a 59 puede tener dificultad para trasladarse, así como ser más susceptibles de contraer enfermedades o a presentar complicaciones en las mismas (Cutter *et al.*, 2003, IFRC, 2010).

Otra cara de este atributo es el relacionado con el acceso a los servicios de salud, la oportunidad y la efectividad de los mismos. Al respecto, CONEVAL (2010) presenta el indicador de carencia por acceso a los servicios de salud será utilizado en el presente estudio que se describe en la tabla 9.

Tabla 9. Población con carencia por acceso a los servicios de salud, 2010.

Municipio	Población	Carencia por acceso a los servicios de salud
Morelia	882,281	350,124

Fuente: CONEVAL, 2010.

c) Educación

El atributo educación es sumamente importante, ya que un mayor nivel educativo permitirá a los agentes entender mejor la información sobre amenazas y en su caso, también sobre ayuda y recuperación tras el embate de un evento extremo. Además, un mayor nivel educativo, también provee al agente de mayor *Aptitud* al dotarlo de mejores oportunidades de empleo y de ingreso, lo que disminuye su vulnerabilidad. Por otra parte, *educación* contribuye al meta-atributo *Flexibilidad* al darle al agente mayores opciones para encontrar empleo.

CONEVAL (2010) establece un indicador de carencia por rezago educativo en el que se considera que los agentes se encuentran carencia por rezago educativo si:

- a. Tienen de tres a quince años de edad, no cuenta con la educación básica obligatoria y no asiste a un centro de educación formal.
- b. Nacieron antes de 1982 y no cuentan con el nivel de educación obligatoria vigente en el momento en que debía haberla cursado (primaria completa).
- c. Nacieron a partir de 1982 y no cuentan con el nivel de educación obligatoria (secundaria completa).

Esta información se encuentra en la tabla 10, donde se describe que el 22.4 por ciento de la población municipal se encuentra en rezago educativo, es decir, no cuenta con educación básica de acuerdo a la fecha de su nacimiento.

Tabla 10. Población de Morelia, Michoacán con rezago educativo, 2010.

Municipio	Población	Rezago educativo
Morelia	882,281	22.4

Fuente: CONEVAL, 2010.

4.4. Modelo verbal y diagramático de la dinámica co-evolutiva

En el modelo, se plantea que los agentes generan una dinámica en la que existe una constante modificación poblacional. Esta modificación se da tanto por la reproducción de la población como por la inmigración de zonas rurales. La inmigración a las ciudades provoca un incremento en la demanda de los servicios prestados tanto por las entidades gubernamentales como por los ecosistemas.

La población requieren de las EGs servicios educativos, de salud, energía, drenaje y agua potable; de los Ecosistemas servicios ambientales como agua potable, aire y suelo. La capacidad de las entidades gubernamentales de prestar los servicios que la población recién arribada a la ciudad necesita es esencial para el desarrollo de los individuos y para evitar niveles de pobreza extrema.

De la forma que se haga uso de los ecosistemas, dependerá que éstos sean degradados o no. Como se ha mencionado en apartados anteriores, la ONU (UNISDR, 2004) señala a la degradación ambiental pieza fundamental en la generación de vulnerabilidad ante eventos

climatológicos extremos, ya que en la degradación se merma la capacidad de los ecosistemas de responder ante cambios y agresiones.

En el modelo, la comprensión de las amenazas que enfrenta una población está en función de su nivel educativo y de un nivel de ingreso que le permita tomar decisiones en las que se encuentre libre de peligros. Un agente que tenga un nivel educativo bajo puede subestimar el grado de las amenazas que los rodean; o bien, un agente con un bajo nivel de ingreso puede verse obligado a tomar decisiones que lo sitúen en un alto grado de vulnerabilidad como vivir en laderas o márgenes de ríos propensos a desastres.

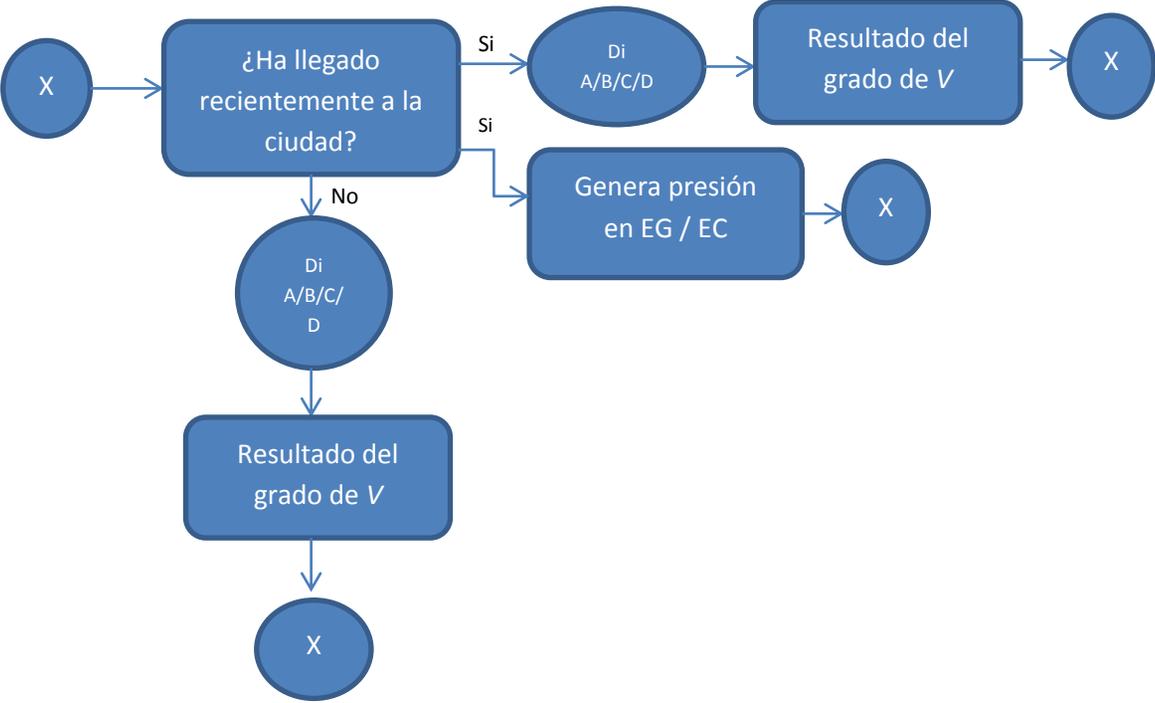
Los agentes que tengan un bajo nivel de *aptitud* en el subsistema *salud* serán también susceptibles a ser incapaces de reaccionar ante desastres por dos razones. En primer lugar aquellos que tengan condiciones de salud preexistentes pueden requerir de atención médica que puede ser temporalmente suspendida. En este sentido, los agentes con condiciones de salud preexistentes pueden presentar una menor expectativa de vida y/o tener una vida productiva más corta. En segundo lugar, estos agentes pueden tener dificultades de movilidad que los limitará ante el embate de un fenómeno extremo y en su recuperación.

Aquellos agentes que tengan un bajo nivel educativo tendrán también una baja remuneración en su trabajo, lo que les impide tener ahorros que les puedan permitir una rápida recuperación post-desastre. También tendrán pocas posibilidades de allegarse de empleos con mejores ingresos mientras menor sea su nivel educativo.

En el modelo diagramático (descrito en la gráfica 8) que describe la heurística de la cual resulta la dinámica coevolutiva de los agentes del sistema *Población*. En éste se incluyen los atributos internos de los agentes que se han discutido en el apartado 4.2, y que en la simulación se encontrarán interrelacionados. La dinámica de la interacción entre los agentes está supeditada a los sistemas *Entidades Gubernamentales* (EG), *Ecosistemas* (EC) y *Economía* en una interacción descrita en la gráfica 10 y cuyo desarrollo será objeto de futuras investigaciones.

El diagrama inicia y termina con un conector con una letra X, lo que indica la constante dinámica bajo la que se encuentra, es decir, una vez que se llega al final del diagrama, el proceso vuelve a comenzar. .

Gráfica 8. Heurística de la cual resulta la dinámica de los agentes del sistema *Población*.



Fuente: Elaboración propia.

4.4.1. Cálculo de la *aptitud* y la *flexibilidad*

En el modelo que se presenta, los meta-atributos *Aptitud* y *Flexibilidad* contribuyen al entendimiento de la vulnerabilidad de los agentes como un proceso dinámico evolutivo en el que cada atributo tiene el mismo peso ante los meta-atributos, esto debido a que se consideran igualmente importantes en la generación de vulnerabilidad de los agentes.

Para cada subsistema se han considerado atributos que forman la *Aptitud* y la *Flexibilidad*. La sumatoria de dichos meta-atributos de los subsistemas *Ocupación (A)*, *Salud (B)*, *Vivienda (C)* y *Educación (D)* darán como resultado la *Aptitud* y la *Flexibilidad* del agente. La ecuación que describe a *Aptitud*, tal como fue utilizada en el modelo que sirve de base al simulador fue la siguiente:

$$A = A_A + A_B + A_C + A_D$$

Donde A: *Aptitud*.

A_A = *Aptitud* del subsistema *Ocupación (A)*.

A_B = *Aptitud* del subsistema *Salud (B)*.

A_C = *Aptitud* del subsistema *Vivienda (C)*.

A_D = *Aptitud* del subsistema *Educación (D)*.

La ecuación que describe a *Flexibilidad*, tal como fue utilizada en el modelo que sirve de base al simulador fue la siguiente:

$$F = F_A + F_B + F_C + F_D$$

F= *Flexibilidad*.

F_A = *Flexibilidad* del subsistema *Ocupación (A)*.

F_B = *Flexibilidad* del subsistema *Salud (B)*.

F_C = *Flexibilidad* del subsistema *Vivienda (C)*.

F_D = *Flexibilidad* del subsistema *Educación (D)*.

La vulnerabilidad es definida como:

$$V = f(A, F)$$

$$V = 1 - \left(\frac{A + F}{2}\right)$$

Donde V = Vulnerabilidad.

A = Meta-atributo Aptitud.

F = Meta-atributo Flexibilidad.

La *Flexibilidad* y la *Aptitud* permiten a los individuos aprender de los cambios que ocurren a su alrededor y modificar tanto su comportamiento como el de su entorno para enfrentar las amenazas de mejor manera desde la perspectiva de la sustentabilidad.

Mientras menos vulnerable sea un individuo, de acuerdo a los diagramas, mayores serán sus valores de *Aptitud* y *Flexibilidad* en el tiempo. Esto es porque ambos reflejan un proceso de aprendizaje que permite al agente actuar para alejarse de patrones generadores de vulnerabilidad.

4.4.2. Reglas de decisión

A continuación se describen las reglas generales, especiales y de decisión que se toman en la simulación.

Reglas generales

- a) Si el valor del meta atributo es negativo ($vA < 0$ ó $v F < 0$), entonces el valor será ajustado a cero, debido a que los valores de un meta-atributo no pueden ser negativos en el modelo-simulador ya que ningún individuo puede tener valores negativos en sus meta-atributos.

Reglas especiales

- a) Si el valor del meta-atributo *Aptitud* es igual a cero ($A = 0$), entonces el valor del meta-atributo *Flexibilidad* será ajustado a cero ($F = 0$). Esto es debido a que si un agente carece de aptitudes, también carecerá de flexibilidad.

Reglas de decisión

- a) Por iteración se entiende una unidad de tiempo que en el simulador se cumple cuando el proceso de comandos ha finalizado comenzando un nuevo proceso.
- b) La tasa de educación incrementa en cada iteración los niveles de *Educación* de cada agente en el valor que sea elegido.
- c) Al iniciar la simulación, a la población le son asignados valores aleatorios en *edad, salud, educación y ocupación*.
- d) El promedio de los factores en *salud, educación y ocupación* determinan su nivel de vulnerabilidad.
- e) En cada iteración se actualizan los valores de los agentes y se les asigna un color de acuerdo a su nivel de vulnerabilidad: rojo-extrema, alta-amarilla, media alta-rosa, media-azul y blanca-baja.
- f) El grid, que es la pantalla en la que interactúan los agentes en la simulación, está dibujada en distintos tonos de verde semejando, por un lado, el nivel de ingreso al que pueden acceder los agentes, y por otro los ecosistemas. Mientras más acentuado sea el tono verde en la celda indica un mayor nivel de ingreso al que el agente puede acceder cuando se desplaza.
- g) Cuando un agente se desplaza a una celda el tono del cuadro cambia a negro indicando el deterioro de los ecosistemas.
- h) En cada iteración, el agente se mueve a la celda que tenga mayor nivel de ingreso que sea capaz de ‘ver’, comparando el tono verde de las celdas que le rodean.
- i) El número de celdas que un agente puede ‘ver’, desde su posición depende del nivel de vulnerabilidad preexistente, es decir, a menor vulnerabilidad menor es su ‘visión’, limitando su capacidad de moverse a celdas en las que pueda obtener un mayor ingreso.
- j) En cada iteración, el nivel de educación se incrementa en función de la tasa de educación elegida en el inicio, con lo que puede disminuir el nivel de vulnerabilidad del agente.
- k) Si la condición de salud preexistente es mala, en cada iteración continúa mermándose y su edad se incrementa en 2 en cada iteración, es decir, si un agente tiene 19 años y su

condición de salud es mala en la siguiente iteración su edad será de 21 y así sucesivamente hasta llegar a la expectativa de vida.

- l) Si la condición de salud preexistente es buena, en cada iteración mejora y su edad se incrementa en 1.
- m) Al llegar a la expectativa de vida elegida los agentes ‘mueren’ y se reproducen de acuerdo a la tasa establecida. La reproducción muestra el incremento de la población que en la realidad puede ser tanto por la reproducción de las familias como por la inmigración.
- n) Los ‘hijos’ de los agentes tienen valores aleatorios, es decir, no heredan características de los ‘padres’.

4.4.3. Algoritmo de posicionamiento del agente *población*

Cuando se desarrolla la simulación, se crean agentes con las características declaradas en el modelo para que participen en la dinámica coevolutiva con un componente aleatorio inicial. El algoritmo de posicionamiento coloca a los agentes de manera aleatoria asignándoles valores iniciales de *educación*, *ocupación* y *salud* que forman el nivel de *vulnerabilidad* de cada individuo. En la interfaz se seleccionan algunas variables: la población inicial, el crecimiento poblacional, la tasa de crecimiento educativo, la expectativa de vida y el porcentaje de celdas con el valor máximo de ingreso posible, esto muestra la accesibilidad a un mayor nivel de ingreso por parte de la población; mientras mayor sea el porcentaje de celdas con el valor máximo de ingreso, más posibilidades tendrán los agentes de obtener un mayor nivel de ingreso.

Durante la simulación, los agentes de la *Población* son configurados con dos opciones en relación a sus atributos. La *flexibilidad* y la *aptitud* son requisitos esenciales para la sustentabilidad en los sistemas complejos coevolutivos (Martínez-García, 2010) y son representados en el simulador como meta-atributos de los sistemas de interés. Cada agente en la simulación tiene valores individuales en sus meta-atributos.

Los valores de los meta-atributos son ajustados constantemente durante la simulación en función de los cambios en los valores de los atributos de cada agente, y son afectados a su vez por la dinámica coevolutiva del sistema de interés y los sistemas y subsistemas que constituyen su entorno.

Los agentes aumentan su nivel de educación en cada iteración de acuerdo a la tasa de incremento, esto indica la facilidad del acceso a los servicios de educación, si la tasa es alta la población tendrá más facilidades para acceder a los servicios educativos.

En cada iteración el agente se desplaza a una celda diferente, buscando aquella que posea un mayor nivel de ingreso. A los agentes se les asigna una ‘visión’ de acuerdo a su nivel de educación que le permitirá desplazarse entre las celdas. Mientras mayor sea su nivel educativo, mayor será su ‘visión’ y tendrá la capacidad de comparar un mayor número de celdas para moverse.

Cuando los agentes se desplazan, el color de su nueva celda cambia a negro indicando que ha consumido el ingreso y que se han utilizado recursos naturales. Los valores de la vulnerabilidad se actualizan y se asigna a los agentes el color de la vulnerabilidad que corresponda.

En la interfaz se observa también una gráfica que muestra el comportamiento de la vulnerabilidad de los agentes en el tiempo, que permite observar los cambios en los patrones con mayor facilidad.

Los agentes que tengan en el subsistema salud un nivel de vulnerabilidad igual o mayor a medio-alto incrementan su edad en dos, pues indica que tienen enfermedades preexistentes, por lo que su expectativa disminuye. De lo contrario la aumentan en uno en cada iteración lo que muestra un envejecimiento normal de los agentes. Esto indica el mayor desgaste físico de los agentes que tienen poca *aptitud* y/o poca *flexibilidad*. Al cumplir la expectativa de vida los agentes se reproducen de acuerdo al número de hijos determinado en la interfaz y luego ‘mueren’, es decir desaparecen. Sus hijos no heredan ninguna característica, todas les son asignadas aleatoriamente como al inicio de la simulación.

4.4.4. Clasificación de los atributos: tipo de contribución al meta-atributo *aptitud*

En la tabla 9 se desglosan los atributos internos que forman parte del meta-atributo *Aptitud* por su tipo de contribución, es decir, si permiten aumentar o una disminuir la capacidad de los agentes a cumplir sus objetivos.

Tabla 9. Contribución de los atributos al meta atributo *Aptitud*.

Atributos Internos	Valor	Contribución a la <i>Aptitud</i>
Educación	Existe rezago educativo	Disminución
Educación	No existe rezago educativo	Aumento
Vivienda	Cuenta con servicios públicos	Aumento
Vivienda	No cuenta con al menos un servicio público	Disminución
Vivienda	Cuenta con calidad en espacios y materiales	Aumento
Vivienda	No cuenta con calidad y espacios en materiales	Disminución
Salud	Tiene alguna discapacidad	Aumento
Salud	No tiene discapacidad	Disminución
Salud	Tiene entre 6 y 59 años de edad	Aumento
Salud	No tiene entre 6 y 59 años de edad	Disminución
Ocupación	Su ingreso está por encima de la línea de bienestar	Aumento
Ocupación	Su ingreso está por debajo de la línea de bienestar	Disminución
Ocupación	Su ingreso está por debajo de la línea de bienestar mínimo	Disminución mayor
Ocupación	Se dedica al sector secundario o terciario	Aumento
Ocupación	No se dedica al sector secundario o terciario	Disminución

Fuente: Elaboración propia.

4.4.5. Clasificación de los atributos: tipo de contribución al meta-atributo *flexibilidad*

En la tabla 10 se describen los atributos que conforman el meta-atributo *flexibilidad* y su contribución al mismo, es decir, si aumentan o disminuyen la capacidad de los agentes para continuar cumpliendo sus objetivos en el futuro.

Tabla 10. Contribuciones de los atributos al meta atributo *Flexibilidad*.

Atributos internos	Valor	Contribución
Educación	Tiene educación técnica y profesionalizante.	Aumento
Educación	No tiene educación técnica y profesionalizante	Disminución
Ocupación	Diversifica sus ingresos	Aumento
Ocupación	No diversifica sus ingresos	Disminución
Salud	Tiene acceso a servicios de salud	Aumento
Salud	No tiene acceso a servicios de salud	Disminución
Vivienda	Habita en zonas de peligro	Aumento
Vivienda	No habita en zonas de peligro	Disminución

Fuente: Elaboración propia.

En base a estas reglas y mecanismos se realizó la simulación computacional que permite esbozar escenarios sobre la evolución de las características socio-económicas que generan vulnerabilidad en la población y cuyos resultados se presentan en el siguiente capítulo.

CAPITULO V

Resultados de la modelación – simulación de los sistemas de interés

Este capítulo muestra los resultados obtenidos de la aplicación del constructo metodológico presentado en el capítulo anterior. En primer lugar se describe la dinámica del estado estable de la ciudad logrado con datos de INEGI y CONEVAL, y por otro se presentan distintos escenarios generados a partir de la simulación de acuerdo a las reglas de decisión establecidas.

5.1. El estado actual de la vulnerabilidad en la ciudad de Morelia, Michoacán

Para conocer el estado actual de la dinámica coevolutiva de la ciudad de Morelia se obtuvo la información estadística de los atributos de los agentes del sistema población (apartado 4.2.1) utilizando árboles de decisión para conocer el nivel de vulnerabilidad de la misma.

Con los datos obtenidos en INEGI (2000, 2005, 2010) y CONEVAL (2010) se sentaron las bases para simular el proceso que resulta el estado de vulnerabilidad de la población (ver anexos 4, 5, 6 y 7), de acuerdo a la escala propuesta en el capítulo anterior. Los de árboles de decisión se detallan en los anexos 9, 10, 11 y 12 en base a la modelación de los subsistemas *ocupación, salud, vivienda y educación* a través de los cuales se obtuvo un nivel de vulnerabilidad para cada subsistema entre 1 y 0. Aquellos agentes que obtuvieron un nivel de vulnerabilidad entre 0.8 y 1 son clasificados como vulnerables extremos; los agentes cuyo nivel de vulnerabilidad oscile entre 0.6 y 0.79 se encuentran en un nivel alto; aquellos que tengan un resultado entre 0.4 y 0.59 se encuentran en un nivel medio alto; aquellos que tengan un nivel entre 0.2 y 0.49 son clasificados en un nivel medio y los que tengan menos de 0.19 se encuentran en un nivel bajo.

Se encontró que la población de la ciudad es altamente vulnerable en el subsistema *ocupación* con un valor de 0.80, esto es debido a los bajos niveles de *flexibilidad* obtenidos por la población y el alto número de personas con ingreso por debajo de la línea de bienestar. Este resultado genera vulnerabilidad en el subsistema *salud*, ya que la pobreza usualmente va de la

mano con bajos niveles de alimentación e higiene lo que vuelve a los agentes propensos a enfermedades.

En el subsistema *salud* se determinó un nivel de vulnerabilidad de 0.65 alto. Al respecto, solo el 48% de la población tiene acceso a servicios de salud y el 77% de la población tiene problemas de salud que pueden ser condiciones preexistentes o discapacidades; ambos resultados reflejan un acceso desigual a los servicios de salud.

Un rubro en el que la población de interés tiene un nivel de vulnerabilidad bajo con un valor de .015 es el del subsistema *vivienda*. Es importante notar que de acuerdo con información oficial tan solo 14% de la población vive en zonas de peligro, aunque este número puede incrementarse de acuerdo a la escala del evento. El simulador calcula que aproximadamente el 83 % de la población tiene acceso a todos los servicios públicos y el 86 % habita en viviendas con calidad en espacios y materiales.

En el subsistema *educación* la población de la ciudad de Morelia obtiene un nivel de vulnerabilidad de 0.78; si bien el 73% de la población ha concluido educación básica, sólo el 15 % tiene una carrera técnica, 16 % ha concluido una licenciatura y sólo el .02 % ha concluido un posgrado.

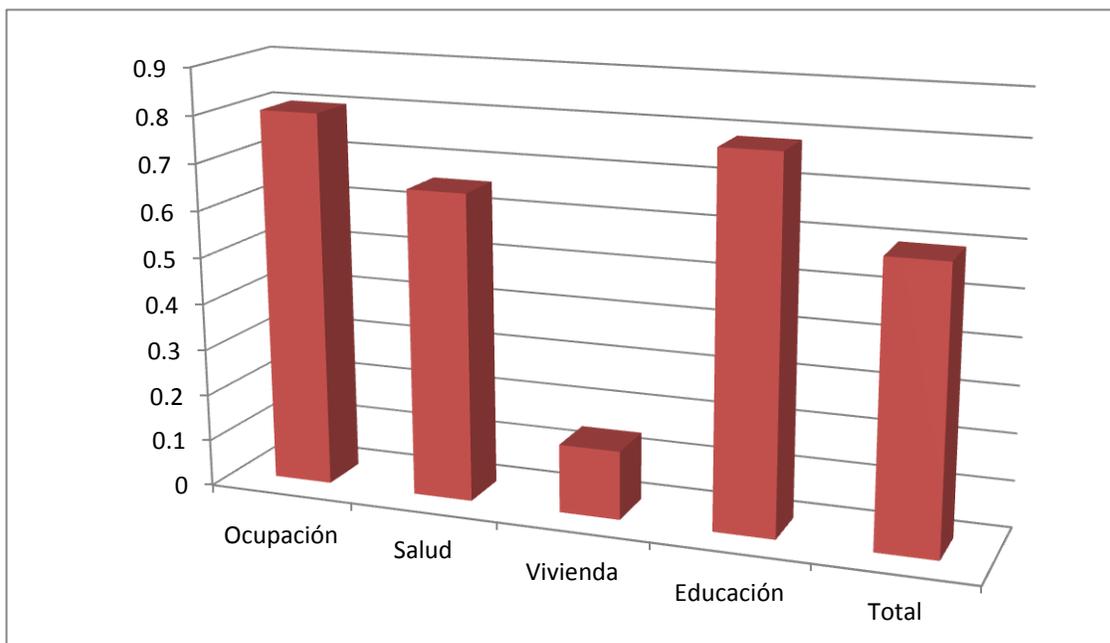
El valor total de la vulnerabilidad de la población en Morelia es medio alto con un valor de 0.59. La ciudad tiene un importante potencial de reducir la vulnerabilidad de su población ante eventos climatológicos extremos mediante dos retos: la pobreza y la educación. Los agentes pueden decidir trabajar, aún si tienen al alcance servicios educativos de buena calidad, si viven en pobreza. Por otra parte, será difícil obtener ingresos por encima de la línea de bienestar si el nivel educativo es bajo, con lo que se genera un círculo negativo de pobreza. Los resultados pueden observarse con mayor claridad en la gráfica 9.

5.2. Simulación basada en agentes.

Una vez calculados los valores de los meta atributos, éstos se evalúan a partir de reglas de decisión y de una serie de reglas básicas en la simulación, las cuales han sido descritas en el capítulo 4 (apartado 4.4.1 y 4.4.6). El experimento computacional tiene como objetivo mostrar las interacciones entre los agentes, pronosticar posibles escenarios futuros, así como

vislumbrar puntos de palanca que permitan cambiar la dinámica coevolutiva actual para reducir la vulnerabilidad de la población de interés. La simulación fue realizada en el programa NetLogo desarrollado en la Universidad de Northwestern en EE.UU (Wilensky, 1998).

Gráfica 9. Niveles de vulnerabilidad en Morelia, Michoacán.

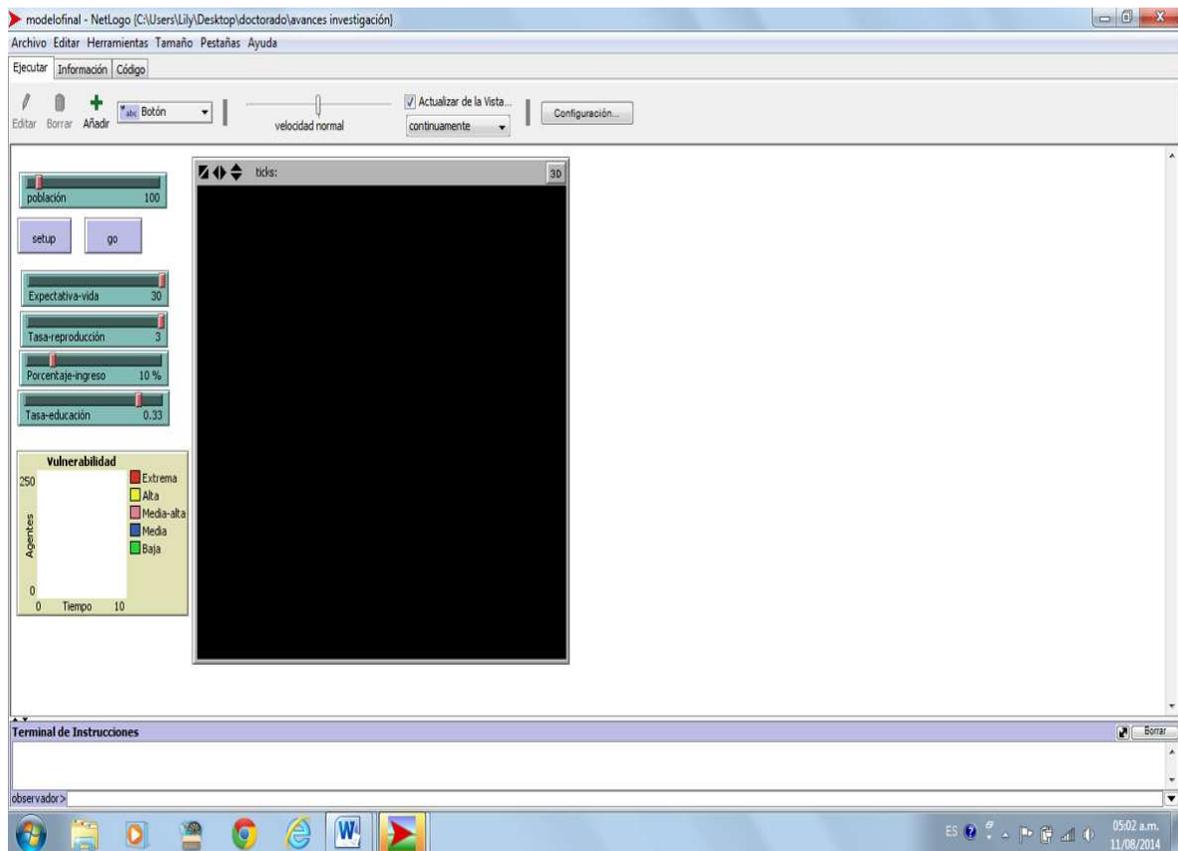


Fuente: Elaboración propia en base a información de INEGI y CONEVAL

La simulación inicia con una interfaz que permite elegir la población inicial que puede ir entre 30 y 1,000 habitantes, la expectativa de vida de cada agente que puede ser de hasta 30 años, la tasa de reproducción que puede ser de 1, 2 o 3 hijos por agente, el porcentaje máximo de ingreso al que el agente puede obtener y la tasa de crecimiento de la educación en cada iteración (ver gráfica 10). El botón *setup* sirve para inicial la simulación y el botón *go* se presiona para dar paso a una iteración, es decir, una unidad de tiempo.

En la interfaz se muestra el grid que es el recuadro negro en donde ocurre la simulación, y un histograma que muestra el número de agentes en cada nivel de vulnerabilidad durante las iteraciones. Mediante esta gráfica se puede observar el comportamiento de la vulnerabilidad de los agentes en los distintos escenarios.

Gráfica 10. Interfaz de la Simulación



Fuente: Elaboración propia en NetLogo

5.2.1. Escenarios

Escenario 1

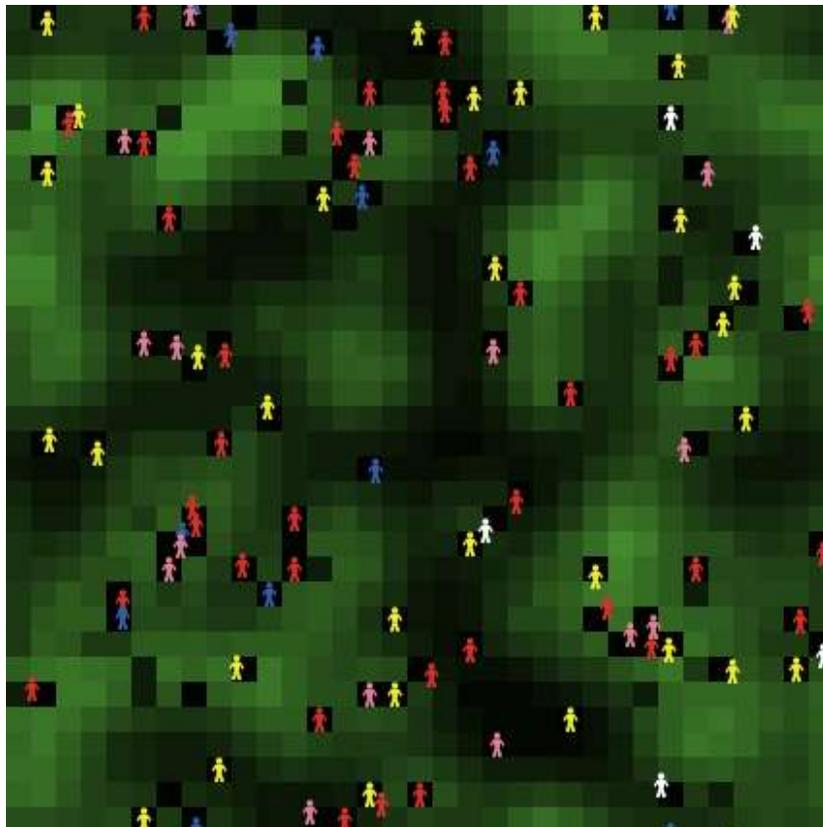
En el primer escenario que se genera se toma una población de 100 agentes con una tasa de reproducción de 1, un porcentaje de celdas de ingreso máximo del 10% y una baja tasa de incremento de la educación en cada iteración de 0.05. En este escenario, la dinámica coevolutiva describe interacciones que resultan en restricciones para acceder a mejores niveles de educación e ingreso para los agentes y una reproducción estable, es decir, no se establecen incrementos acelerados de la población.

En cada escenario se realizan veinte iteraciones o unidades de tiempo que reflejan 20 años de la dinámica coevolutiva. Cada escenario se ejecuta cinco veces para corroborar la tendencia que muestra la población. En este caso, se observa que en una población en la que existen

restricciones para acceder a la educación y a mejores ingresos se disparan los niveles de vulnerabilidad extremos y altos. Al cabo de las veinte iteraciones, aproximadamente un 37 % de los agentes presentan un nivel de vulnerabilidad extrema y un 20 % alta, mientras que el número de agentes con una vulnerabilidad media y baja son muy pocos (9 % y 5 % respectivamente).

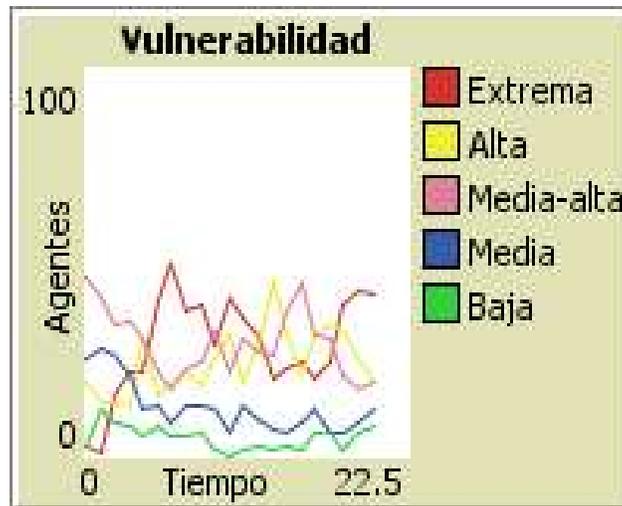
Estos resultados se pueden observar en las gráficas 11 y 12. El primero describe el escenario plasmado en el grid tras 20 iteraciones que refleja la misma cantidad de años. El segundo muestra la dinámica evolutiva de los agentes a través del tiempo, es decir, el comportamiento de los niveles de vulnerabilidad en los agentes. Aquí, se puede observar el rápido incremento de los agentes en los niveles más altos de vulnerabilidad y la permanencia de esta tendencia en el tiempo.

Gráfica 11. Escenario 1.



Fuente: Elaboración propia en el programa NetLogo.

Gráfica 12. Comportamiento de los agentes en el tiempo.
Escenario 1



Fuente: Elaboración propia en NetLogo.

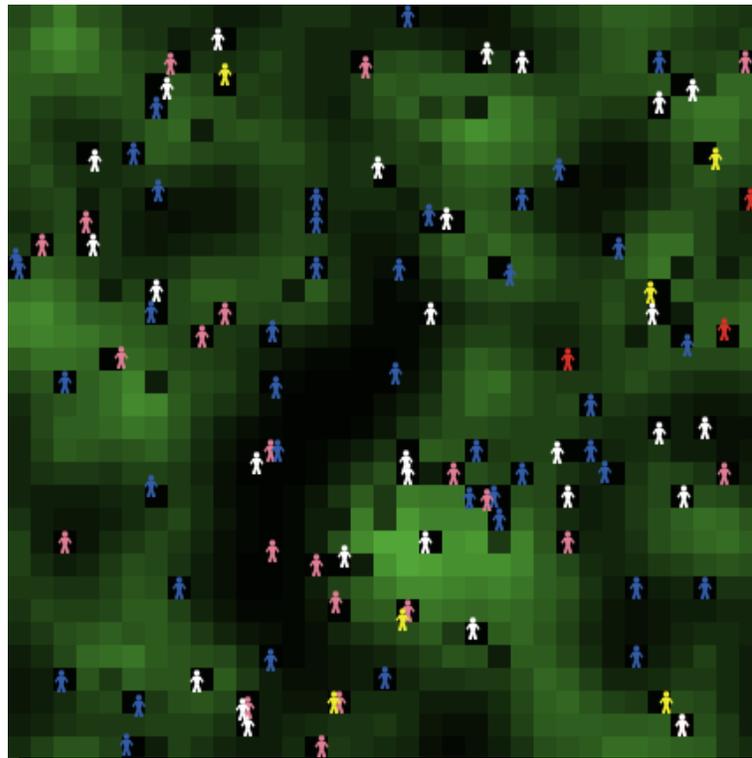
Escenario 2

En el segundo escenario, al igual que en el anterior, se plantea una tasa de reproducción de 1 hijo, un porcentaje de ingreso máximo del 10% pero con una tasa de educación de 0.30. Estas condiciones reflejan una sociedad con una dinámica poblacional estable, condiciones limitantes a la obtención de mayores ingresos pero a diferencia del escenario anterior, esta sociedad tiene fácil acceso a servicios educativos.

Bajo estas condiciones, una gran cantidad de agentes se aglomeran en niveles de vulnerabilidad bajo y medio (aproximadamente 27 % y 40 % respectivamente). El número de agentes en el nivel extremo y alto es muy bajo (aproximadamente 0.9 % y 8.7% respectivamente). La figura 13 muestra el grid final del quinto escenario tras 20 iteraciones donde predominan los agentes en tono azul.

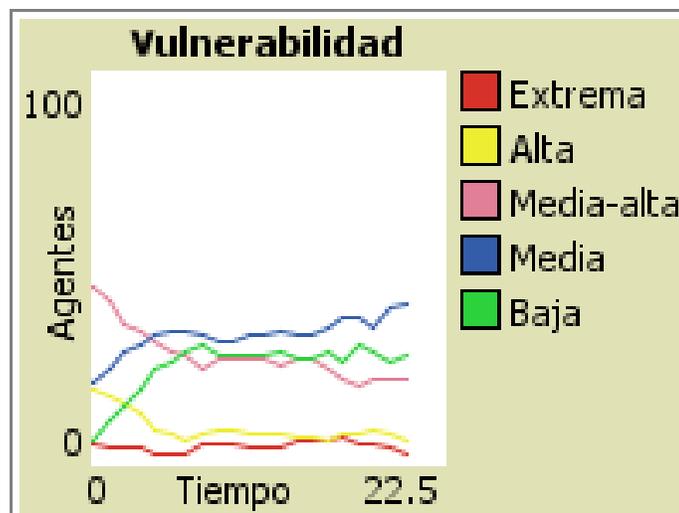
La figura 14 muestra la dinámica evolutiva de la vulnerabilidad de los agentes en el tiempo mostrando el repunte de los niveles medio y bajo en un corto periodo de tiempo, tendencia que se mantiene estable en el resto de la simulación. De igual forma, los niveles de vulnerabilidad alto y extremo muestran una disminución sostenida en el tiempo observado, con lo que podemos inferir que el fácil acceso a los servicios educativos permite a una sociedad disminuir sus niveles de vulnerabilidad considerablemente.

Gráfica 13. Escenario 2



Fuente: Elaboración propia en el programa NetLogo.

Gráfica 14. Dinámica evolutiva de los agentes.
Escenario 2



Fuente: Elaboración propia en el programa NetLogo.

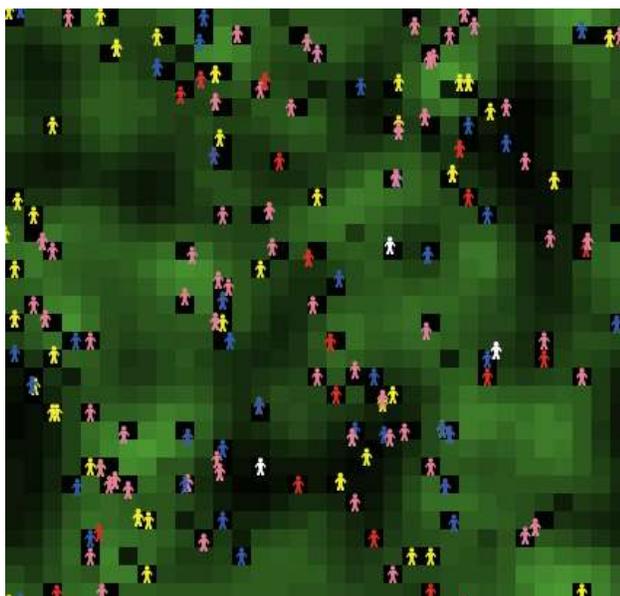
Escenario 3

En este escenario se modeló una tasa de reproducción de dos, un porcentaje de ingresos máximo de 10%, una tasa de educación de 0.10. Con estas características se representa una sociedad en la que existe un crecimiento poblacional mayor al analizado en los escenarios anteriores que en la realidad puede estar relacionado no solo con una alta tasa de fecundidad, sino también con procesos de inmigración, así como restricciones de acceso tanto a servicios educativos como a mejores ingresos.

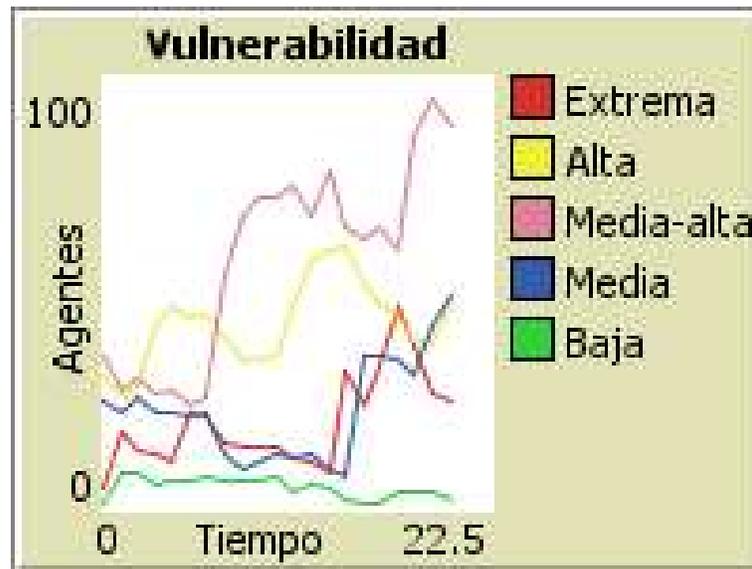
Tras analizar cinco escenarios se confirma la tendencia de las características planteadas observando un crecimiento exponencial de la población en vulnerabilidad media alta y alta (75 % y 88 % respectivamente). La gráfica 15 muestra la pantalla final de una simulación en la que prevalece el color rosa en los agentes. En la gráfica 16 se observa también el repunte del número de agentes en vulnerabilidad media alta (60 % aproximadamente) mientras que el número de agentes en vulnerabilidad baja descende (2 % de la población aproximadamente).

Con esta tasa de crecimiento, en veinte iteraciones se observa ligeramente el impacto en los ecosistemas al disminuir los tonos verdes del grid dado el impacto de las actividades humanas sobre los recursos naturales, así como la prevalencia del nivel medio-alto de vulnerabilidad entre los agentes.

Gráfica 15. Escenario 3



Gráfica 16. Dinámica evolutiva de los agentes. Escenario 3.



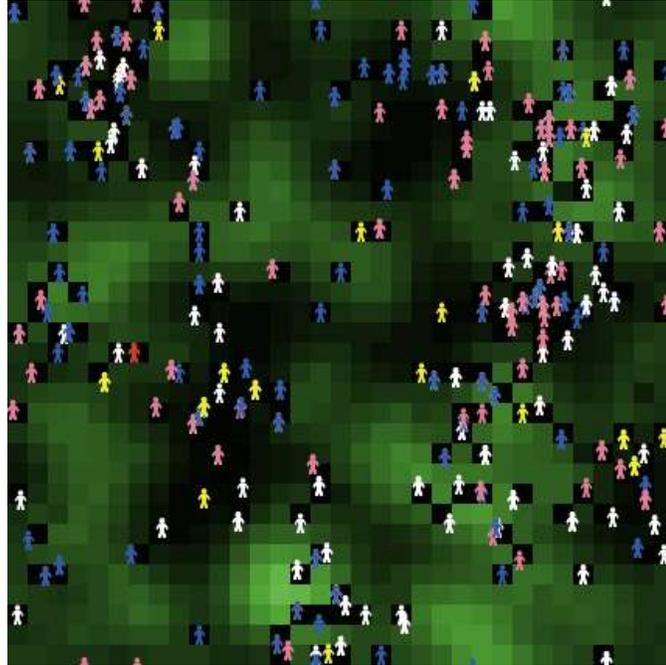
Fuente: Elaboración propia en el programa NetLogo

Escenario 4

Este escenario plantea una población con una expectativa de vida igual al anterior, una tasa de reproducción de 3, un porcentaje de ingreso máximo de 10% y una tasa de educación de 0.40. Estas características representan una sociedad con un alto crecimiento poblacional, con difícil acceso a mejores ingresos pero con fácil acceso a los servicios de educación.

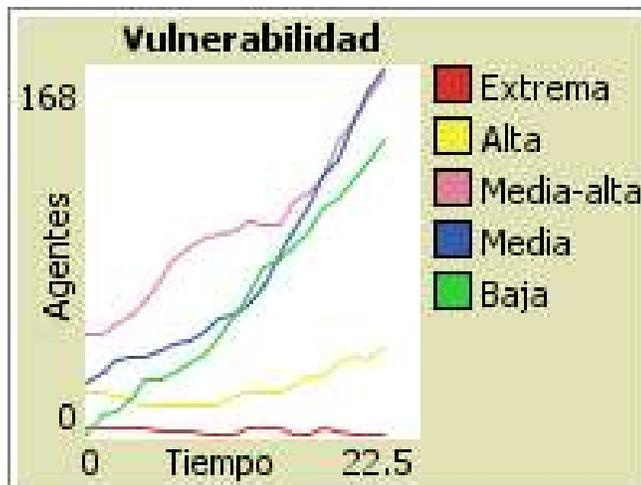
La figura 17 muestra el incremento sustancial de la población con sus repercusiones en los ecosistemas y la predominancia del color azul en los agentes al terminar la simulación. El fácil acceso a la educación permite un importante incremento del número de agentes en niveles de vulnerabilidad media-alta, media y baja (aproximadamente 30 % en cada nivel). La población en nivel de vulnerabilidad extrema y alta es reducida (aproximadamente .01 % y 0.1 % respectivamente). Estas tendencias son fácilmente identificables en la figura 17 que muestra la dinámica coevolutiva de los agentes bajo las características de este escenario, el repunte sostenido de los niveles de vulnerabilidad media-alta, media y baja y la disminución sostenida de los bajos niveles sostenidos del nivel extremo gracias al incremento de la tasa de educación en la simulación.

Gráfica 17. Escenario 4.



Fuente: Elaboración propia en el programa NetLogo.

Gráfica 18. Dinámica evolutiva de la población. Escenario 4.



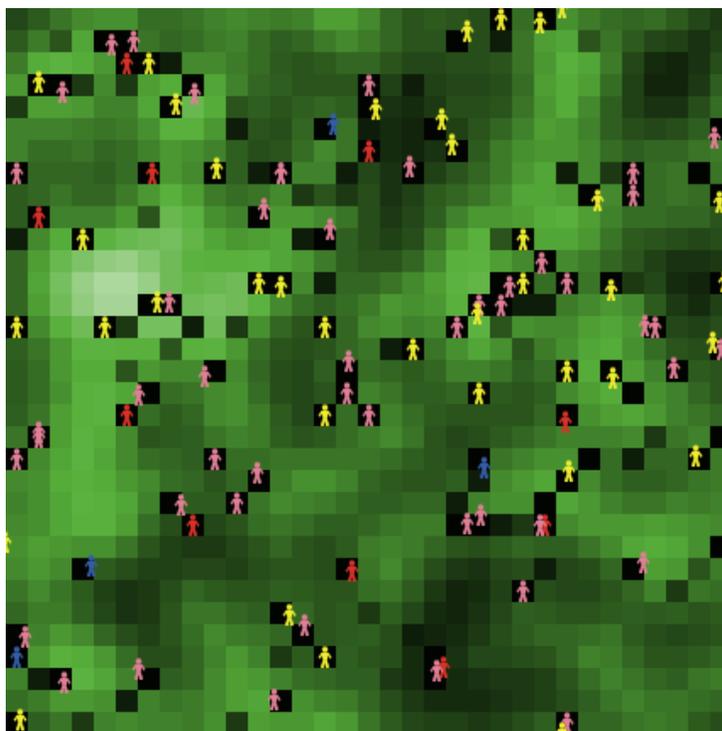
Fuente: Elaboración propia en el programa NetLogo.

Escenario 5

En este escenario se simula una tasa de reproducción de 1, un porcentaje de celdas con ingreso máximo de 20 y una tasa de educación de 0.10 con lo que se representa una sociedad en la que el crecimiento poblacional es estable, los servicios educativos no son accesible pero las condiciones para obtener un mejor ingreso han mejorado con respecto a los escenarios anteriores, por lo que las oportunidades de los agentes para obtener mejores ingresos son mayores.

Las figuras 19 y 20 muestran la dinámica resultante de tales condiciones en las que se observa un incremento significativo del número de agentes en niveles de vulnerabilidad medio alto y alto, disminuyendo drásticamente el número de agentes en vulnerabilidad media y baja. Con lo que se pone en relieve la importancia de la educación en la disminución de la vulnerabilidad de la población, incluso por encima de la mejoría del acceso a mejores ingresos.

Gráfica 19. Escenario 5.



Fuente: Elaboración propia en el programa NetLogo.

Gráfica 20. Dinámica evolutiva de los agentes. Escenario 5.



Fuente: Elaboración propia en el programa NetLogo.

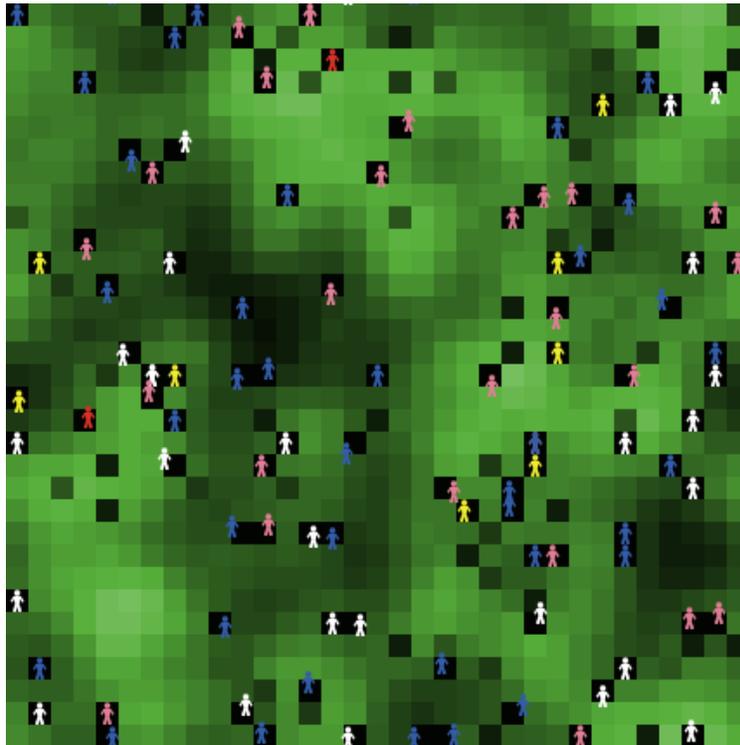
Escenario 6

En este escenario se simula una tasa de reproducción de 1, un porcentaje de celdas de ingreso máximo de 20 y una tasa de educación de .30, condiciones que representan una sociedad con un crecimiento poblacional estable y con facilidades al acceso de servicios educativos y a un mejor ingreso.

La gráfica 21 muestra el grid final de la simulación en el que se observa la predominancia de los agentes en color azul. La gráfica 22 muestra el repunte del número de agentes en nivel de vulnerabilidad medio y bajo (40 % y 25% aproximadamente), seguido por el nivel medio-alto (25% aproximadamente) y los bajos niveles de los niveles de vulnerabilidad alta y extrema (9 % y 1 % respectivamente).

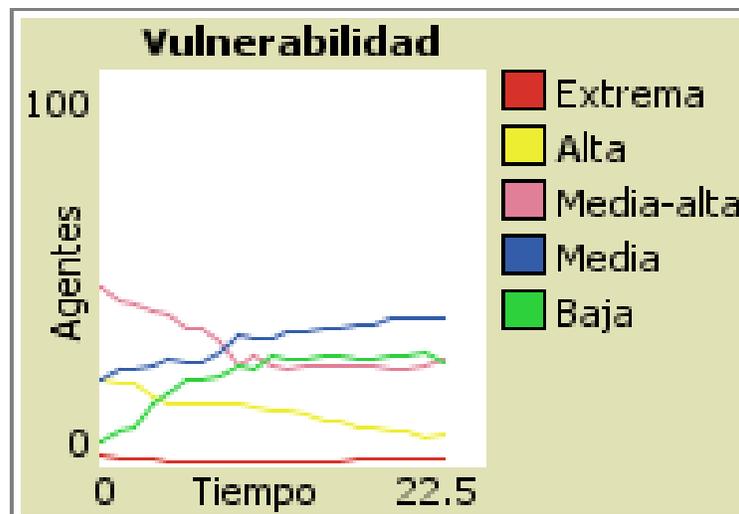
Esto muestra que en una sociedad de crecimiento estable en donde existen las condiciones para acceder a mejores ingresos y a servicios educativos, los niveles de vulnerabilidad tenderán a ser bajos, y los agentes con niveles de vulnerabilidad extrema serán muy pocos.

Gráfica 21. Escenario 6.



Fuente: Elaboración propia en el programa NetLogo.

Gráfica 22. Dinámica evolutiva de los agentes. Escenario 6.



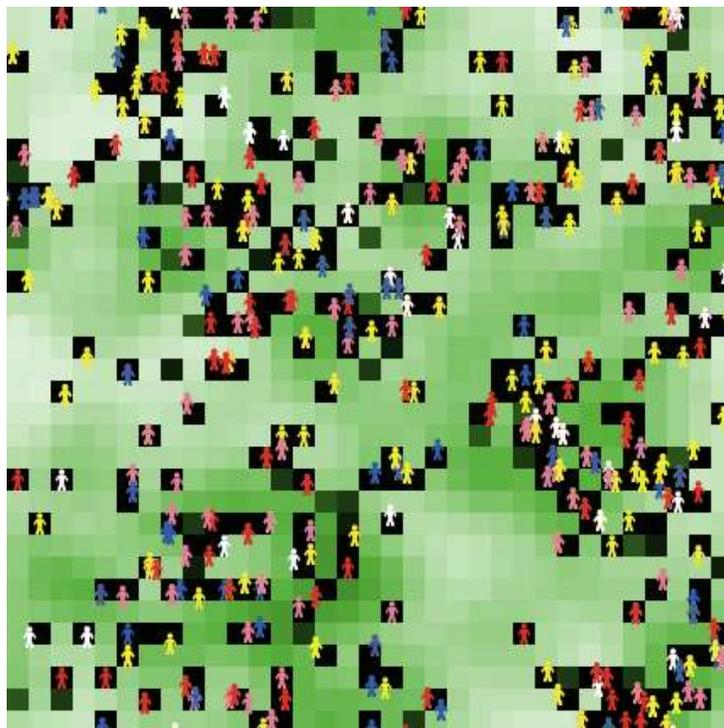
Fuente: Elaboración propia en el programa NetLogo.

Escenario 7

En este escenario se modela una tasa de reproducción de 3, un porcentaje de celdas con ingreso máximo de 50 y una tasa de educación del 0.03. Una sociedad en estas condiciones tiene un crecimiento poblacional acelerado, restricciones al acceso a servicios educativos pero buenas condiciones para obtener mejores ingresos.

La tendencia de la simulación de una sociedad con estas características es la de un crecimiento exponencial en la población en el tiempo, del cual un gran número muestra un nivel de vulnerabilidad extremo y alto (30 % y 20 % respectivamente). El número de agentes con vulnerabilidad media y baja es muy reducido (11 % y 5 % respectivamente). Estos resultados se pueden observar en las figuras 23 y 24 que también muestran la disminución del tono verde en el grid que muestra que el acelerado incremento de la población tiene un impacto significativo en los ecosistemas. Este escenario muestra la importancia de la educación en la disminución de la vulnerabilidad de la población, por encima incluso de las condiciones económicas que permitan un mejor nivel de ingreso.

Gráfica 23. Escenario 7



Fuente: Elaboración propia en el programa NetLogo.

Gráfica 24. Dinámica evolutiva de los agentes. Escenario 7



Fuente: Elaboración propia en el programa NetLogo.

5.3. Atractor

Un atractor es un punto al que el sistema es arrastrado aun cuando los valores son modificados. En este punto disminuir los niveles de vulnerabilidad de los agentes en los rangos más altos requeriría de una inyección de energía muy grande, lo que se traduce en elevados costos que a las entidades gubernamentales puede resultarle problemático enfrentar.

Los escenarios presentados muestran un posible atractor que en el sistema de interés significaría un espacio-fase en el que gran parte de la población se encontrara en niveles de vulnerabilidad alto y extremo. Este panorama se puede presentar si la ciudad de Morelia exhibe crecimientos poblacionales acelerados a los que las entidades gubernamentales no puedan responder incrementando su oferta de servicios tanto educativos como de infraestructura, así como que se mantengan dificultades para obtener mejores ingresos en el sistema *economía*.

5.4. Puntos de palanca

Los puntos de palanca son cantidades relativamente pequeñas de energía, materiales y/o información necesarias para producir grandes cambios en el comportamiento de los sistemas complejos (Holland, 1996) (sección 2.2). Se pueden entender como las mejores estrategias para emerger de una situación hacia otra más favorable, esto es debido a que con un mínimo

de esfuerzo en los atributos adecuados, se pueden lograr avances muy significativos en la dinámica de los agentes por lo que constituyen las propuestas resultantes del presente estudio.

Para el presente trabajo, se ha observado un punto de palanca posible:

A. Educación + Medidas de alivio de pobreza.

Derivado del experimento computacional, se observa que el incremento en los niveles educativos de la población aunado a medidas de alivio de pobreza que permitan a la sociedad allegarse de mejores ingresos puede permitir disminuir los niveles de vulnerabilidad ante eventos naturales en la población de Morelia.

La mejoría en estos subsistemas puede permitir, de manera simultánea, los resultados obtenidos en *salud*. Esto es debido a que al incrementar el nivel de ingreso, los agentes tendrán la posibilidad de acceder a servicios de salud y de mejorar sus hábitos alimenticios.

La educación debe incluir no sólo los grados académicos, también la información oportuna sobre las amenazas que rodean el entorno lo que aún no se logra a pesar de los esfuerzos realizados institucionalmente. Las medidas de alivio de pobreza contribuirán a mejorar la situación de pobreza en la población de interés que es uno de los indicadores más fuertes en su estado actual (apartado 5.1). Estos resultados confirman lo descrito por estudios como IFRC (2004), BID (2009), Chaux (1993), Beck (2002) en el que se describe a la vulnerabilidad como resultado de un entramado social que es fácilmente expuesto tras un desastre.

La prevención, un elemento clave para contrarrestar los efectos de un evento extremo, debe ser observada de manera holística y entenderse desde sus fundamentos sociales, pues sólo de esta manera podrá realmente ser llevada a cabo. El desarrollo de la sociedad provee, además de la mejoría del nivel de bienestar de la población, condiciones sociales que permiten alejarse de patrones que generan vulnerabilidad ante fenómenos extremos, como el asentamiento en zonas irregulares o en márgenes de los ríos o la adquisición de viviendas con calidad en espacios y materiales.

Por otra parte, el incremento del nivel educativo de la sociedad en general puede derivar en comportamientos que contribuyan a cuidar los ecosistemas como las licencias sociales que se refiere a comportamientos colectivos que obligan a las empresas a tomar acciones de

protección a los ecosistemas incluso más allá de las regulaciones para evitar daños a su reputación que luego culminan en problemas con sus ventas (Gunninham *et al.*, 2004).

Las compañías rebasan la regulación ambiental cuando las expectativas sociales, denominadas licencias sociales, son más estrictas que la misma regulación. Si la reputación no es algo que interesa a las empresas, las licencias sociales pueden presionar a las autoridades a vigilar con mayor fuerza las regulaciones existentes, o bien, pueden luego convertirse en regulaciones. Por último, la ejecución de licencias sociales puede ser impulsada por castigos económicos, es decir, los consumidores dejan de comprar sus productos (Gunninham *et al.* 2004).

CAPITULO VI

Propuestas para disminuir el nivel de vulnerabilidad ante eventos extremos en Morelia, Michoacán

La ciudad de Morelia es una de las más dinámicas del estado de Michoacán, sin embargo, los resultados del presente estudio muestran una alta vulnerabilidad en la población ante eventos sorpresivos. El incremento exponencial urbano ha contribuido a generar amenazas, así como a exacerbar las ya existentes, debido a la falta de un entendimiento integral sobre las causas que generan vulnerabilidad en la población.

Los rasgos más alarmantes, de acuerdo a la información disponible, se encuentran en los subsistemas *ocupación, educación y salud*. Los resultados obtenidos en la MSBA muestran un bajo nivel de desarrollo que resulta alarmante, ya que el índice de desarrollo humano de Michoacán en 2007 sitúa a Morelia como el primer lugar de los 113 municipios que lo conforman. En este sentido, el nivel de vulnerabilidad global es medio alto con un valor de 0.59 en el que los subsistemas obtuvieron ocupación un 0.80, educación 0.78 y salud 0.65, siendo 1 el valor máximo de vulnerabilidad y 0 el valor mínimo.

El alto número de agentes en pobreza, con nivel de estudios bajo y sin acceso a servicios de salud conforma uno de los principales obstáculos para la disminución de la vulnerabilidad de la población, y un evento sorpresivo puede poner al desnudo esta situación. La falta de ingresos mejor remunerados, aunado al bajo nivel educativo puede orillar a la población a tomar decisiones que generen vulnerabilidad como optar por vivir en zonas de alta peligrosidad y con materiales poco adecuados. Es así que la susceptibilidad de la población es un problema sistémico que involucra distintos ámbitos de la población y es así como debe valorarse.

Si bien el estudio de la vulnerabilidad puede complementarse con la exposición para mostrar iniciativas más focalizadas, el presente estudio pone de relieve la importancia de fortalecer la educación como pilar de impulso al desarrollo humano que permita la mitigación de patrones de vulnerabilidad. En este sentido, la educación puede servir como impulsor de otros atributos

como el de empleos mejor remunerados y la disminución de enfermedades preexistentes. Sin embargo, es necesario que tales objetivos sean perseguidos en la doctrina educativa y no obviarlos dentro del sistema, un alumno no aprenderá a cuidar su salud sólo por asistir a materias básicas como matemáticas y español, de la misma manera no se obtendrán empleos mejor remunerados por obtener un certificado, es necesario inculcar hábitos de competitividad y de administración dentro de la currícula para obtener resultados en dichas áreas.

Trabajos como el de Douglas y Wildavsky (1983) muestran que existen riesgos que la población decide correr de acuerdo a percepciones personales, sin embargo, en sociedades atosigadas por problemas como la pobreza y la ignorancia, es importante subsanar estos patrones para proceder después a investigar si a pesar de tener un buen ingreso y un buen nivel educativo la población mantiene consistentemente patrones generadores de vulnerabilidad o se aleja de ellos, así como observar qué porcentaje de la población toma un lado o el otro.

Es así que dados los resultados obtenidos de la presente investigación se propone:

1. Que el gobierno, en todos sus niveles, incremente y a su vez fortalezca los servicios educativos que imparte y los privados que regula, para que exista un mayor número de individuos que alcancen el nivel de educación medio superior y superior poniendo énfasis en la prevención de enfermedades, la competitividad laboral, la administración de los recursos y el entendimiento de las amenazas que rodean a la ciudad. Para lograr esto se debe:
 - a. Capacitar y asesorar adecuadamente al personal docente de todos los niveles para que los frutos de la educación sean realmente perceptibles en los estudiantes. Si bien existe actualmente una iniciativa pública enfocada a esto, es necesario monitorear los resultados y retroalimentar el sistema constantemente.
 - b. Incrementar la oferta educativa haciendo frente al incremento poblacional correspondiente.
 - c. Reorientar los servicios educativos para incluir en la enseñanza, de acuerdo a cada grado escolar las amenazas a las que está expuesta la población según la región en la que habiten.

2. Incrementar la cobertura de los servicios públicos de salud aunado a la realización censos especializados que indiquen con certeza la capacidad actual de respuesta de las instituciones frente a eventos sorpresivos. De esta manera se pueden establecer planes de contingencia en caso de eventos catastróficos en materia de salud.
3. Promoción de medidas de alivio de pobreza, para lo que se podría buscar el apoyo de instituciones internacionales que han hecho grandes contribuciones en otros países con micro financiamiento y capacitaciones focalizadas en grupos más desprotegidos como el BID.
4. Generar información más concreta sobre el estado actual de la vivienda en el que se incluya la cantidad de casas-habitación afectadas por movimientos sísmicos y por desplazamientos de las capas tectónicas, así como las especificaciones de construcción de las principales estructuras de la ciudad.
5. A partir de estos puntos se podría actualizar el mapa de riesgos de Morelia, hasta ahora inconcluso.

Es importante hacer mención que si bien existen grupos más susceptibles a daños que otros, una parte significativa de la población en la capital michoacana se encuentra en situación de pobreza, con un bajo nivel educativo y/o sin acceso a servicios de salud, por lo que la respuesta debe ser global e integral.

Por último, se propone complementar los hallazgos sociales encontrados en el presente estudio con aportaciones multidisciplinarias que incorporen el elemento de la exposición y permitan observar grupos poblacionales en mayor desventaja para priorizar el destino de los recursos que se destinen a la mitigación de la vulnerabilidad.

Conclusiones

Como resultado del presente estudio se obtuvo un modelo que explica las bases sociales de la vulnerabilidad de la población de Morelia basado en cuatro subsistemas (*educación, ocupación, vivienda y salud*). Cada uno de ellos fue valorado en base a los meta-atributos *aptitud* y *flexibilidad* a partir del enfoque de los sistemas complejos coevolutivos. El primero se refiere a la capacidad del sistema de alcanzar los objetivos para los que fue creado y el segundo a la capacidad de coevolucionar con el entorno para seguir cumpliendo con tales objetivos en el futuro (Martínez-García y Anderson 2007, Martínez-García 2010).

Para el subsistema *ocupación*, la *aptitud* estuvo medida en relación al nivel de ingreso con respecto a la línea de bienestar de Coneval (2010) y con la población que se dedica al sector secundario y/o terciario. La *flexibilidad* fue determinada por la diversificación de los ingresos, es decir, los agentes flexibles eran aquellos que recibieran ingresos de dos o más fuentes distintas. El resultado de la vulnerabilidad de este subsistema fue alto con un valor de 0.80, lo que indica que gran parte de la población en Morelia vive en pobreza y que existe un nivel muy bajo de flexibilidad por lo que eventos extremos pueden provocar serias consecuencias en este rubro.

Para el subsistema *salud*, la *aptitud* se midió en función de las condiciones de salud preexistentes y la edad. Los agentes que tuvieran menos de 6 años o más de 59 son considerados más susceptibles a contraer enfermedades e incluso a movilizarse en caso de desastre. La *flexibilidad* se valoró en función del acceso a los servicios de salud. Este subsistema obtuvo un nivel de vulnerabilidad alto con un valor de 0.65 con lo que se muestra un nivel medio-alto en este subsistema, lo que pone en relieve el alto número de personas con condiciones físicas preexistentes y con dificultades de movilidad, así como con acceso a servicios de salud limitados.

Para el subsistema *vivienda*, la *aptitud* se valoró a partir del acceso a servicios públicos y a la calidad en espacios y materiales. La *flexibilidad* por su parte fue medida por la ubicación de las viviendas en zonas libres de peligro. Los resultados arrojaron un nivel de vulnerabilidad bajo con un valor de 0.16 en este subsistema. Esto refleja un nivel de vulnerabilidad bajo en la ciudad en este subsistema.

Para el subsistema *educación*, la *aptitud* se evaluó a partir del grado educativo máximo alcanzado y la *flexibilidad* a partir de la acumulación de grados educativos. El resultado obtenido fue un nivel de vulnerabilidad alto con un valor de 0.78, un indicador que muestra serios atrasos en materia educativa para la población, un área por demás fundamental en el desarrollo humano de la población.

El municipio presenta un nivel medio alto de vulnerabilidad con un valor de 0.59. Si bien el subsistema *vivienda* muestra niveles bajos, se debe poner énfasis muy especial en *Ocupación, Salud y Educación*. Uno de los principales componentes de la dinámica coevolutiva que genera patrones de vulnerabilidad es la baja *flexibilidad* que presentan los subsistemas antes mencionados. Los resultados de este meta-atributo están determinados por una baja diversificación de las fuentes de ingreso, el alto porcentaje de población sin acceso a servicios de salud y los bajos niveles de acumulación de grados educativos. Los niveles bajos en *flexibilidad* indican poca capacidad de los agentes para coevolucionar con el entorno y mantener la capacidad de lograr sus objetivos tras la irrupción de un fenómeno sorpresivo.

Los atributos que afectan el desempeño de la *aptitud* son el gran número de individuos que tienen un ingreso por debajo de la línea de bienestar, el bajo nivel educativo y el alto porcentaje de población con condiciones de salud limitantes. Los atributos que producen el bajo desempeño de la *aptitud* y la *flexibilidad* tienen relación con el sistema económico y las entidades gubernamentales. En el modelo presentado las entidades gubernamentales son las responsables de proveer servicios educativos y de salud a la población, por lo que los resultados obtenidos muestran el pobre desempeño de las entidades gubernamentales en ambos rubros.

Los resultados obtenidos subrayan el bajo nivel de desarrollo de la población de la ciudad que puede traducirse en alarmante para el estado, ya que el índice de desarrollo humano de Michoacán en 2007 sitúa a Morelia como el primer lugar de los 113 municipios que lo conforman. Una mirada más concreta, enmarcada en los supuestos que presenta este trabajo, indica que la situación de la población de esta ciudad es alarmante en rubros como educación y ocupación.

Conociendo las características actuales de la vulnerabilidad en la población de interés, se realizó la simulación basada en agentes. En los panoramas encontrados (apartado 5.2) se observa que una variable fundamental para la disminución de los niveles de vulnerabilidad es la educación. Un incremento en la tasa de educación produce una reversión de los niveles más altos de la escala hacia los más bajos en el corto plazo. Mientras mayor sea el rezago en materia educativa, mayor será el esfuerzo que deben aplicar las entidades gubernamentales para impulsar su desarrollo.

En una sociedad en la que el crecimiento poblacional es acelerado, como es el que ha mostrado la población de interés en algunos periodos en la historia reciente (apartado 3.1), es necesario que existan suficientes recursos para que los agentes tengan acceso a mejores ingresos también.

Cuando la tasa de educación es baja pero el acceso a mejores ingresos es alto los niveles de vulnerabilidad predominantes entre los agentes son el medio alto y alto. Es decir, incluso si las condiciones para obtener mejores ingresos son buenas, sin el componente de la educación la mayor parte de la población permanece en niveles altos de vulnerabilidad.

Los crecimientos acelerados de la población deben ir acompañados de cada vez más estrictas legislaciones que coadyuven a preservar el patrimonio natural del municipio, esto porque tales incrementos generan presión en los ecosistemas. Dicho impacto puede comprometer la tasa de recuperación de los ecosistemas generando mayor vulnerabilidad a la población.

Los resultados obtenidos señalan la necesidad de incrementar los niveles educativos en el municipio, así como medidas de alivio de pobreza. La aplicación de ambas estrategias contribuirá a mejorar también los niveles del subsistema *salud* al permitirle al agente tener una mejor alimentación y mejores ingresos para poder acceder a servicios médicos. Se debe observar que las medidas de alivio de pobreza deben ir encaminadas a fortalecer las capacidades del individuo, que a su vez tendría repercusiones positivas en los meta-atributos evaluados en este trabajo y los mantendrían alejados de tomar decisiones riesgosas por necesidad como el hecho de habitar en zonas de alto riesgo con viviendas de materiales no adecuados por falta de recursos económicos.

Otra de las capacidades es la del entendimiento de la población sobre las amenazas que enfrentan. En el presente estudio, las entidades gubernamentales deben de generar tal información y difundirla masivamente, cometido que hasta ahora no se ha logrado. Esta falla en el sistema contribuye a la generación de patrones de vulnerabilidad en la población como consecuencia de la debilidad institucional.

Los resultados muestran la asociación entre pobreza y vulnerabilidad que se ha hecho latente en varios estudios (BID 1999, UNDP 2004, Beck 2002, Chaux 1993), por lo que la mejoría en los niveles de vida de la población contribuye también a disminuir la vulnerabilidad ante eventos sorpresivos.

Futuras líneas de investigación

El presente trabajo ha expuesto la interrelación de variables que pueden contribuir, desde una perspectiva social, a la generación de desastres naturales. Los resultados obtenidos pueden extenderse para abarcar sistemas económicos a profundidad en el que se modelen las recesiones como amenazas también, así como posibles variaciones en los ecosistemas derivadas del uso que actualmente reciben.

Una limitante al presente trabajo fue la falta de información histórica de algunos atributos a nivel municipal. Será interesante incorporar los resultados de los estudios que Coneval realizará en 2015 para observar su dinámica; a partir de la cual se podrán hacer ajustes a la MSBA presentada. De la misma manera, el presente trabajo puede extenderse a una modelación más precisa utilizando encuestas que permitan entender con mayor profundidad la dinámica de la población e incluso incorporar el desempeño institucional en la misma.

La naturaleza interdisciplinaria del estudio de la vulnerabilidad invita indiscutiblemente a explotarse desde otras ópticas al incorporar expertos de diversas áreas. Éste sería el fin máximo del presente trabajo, mostrar un hallazgo que permita abrir una brecha de investigación regional que derive en formas de mitigación de la vulnerabilidad de la población incorporando visiones de distintos ámbitos de la investigación, desde el estudio más profundo sobre las amenazas que enfrenta la ciudad hasta los distintos niveles de exposición de la población. Esto es posible con la inclusión de un equipo de investigación especializado en cada una de estas áreas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA-Milchik L, Espaldon V. (2008). Assessing vulnerability of selected farming communities in the Philippines based on a behavioural model of agent's adaptation to global. *Global Environmental Change* 18:554-563.

ALBUQUERQUE F. (1997). Metodología para el desarrollo económico local. Serie de Ensayos CEPAL-ILPES.

ARREYGUE-Rocha E, Garduño V, Canuti P, Casagli N, Iotti A, Chiesa S. (2001). Análisis geomecánico de la inestabilidad del escarpe La Paloma en la ciudad de Morelia, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 19:91-106.

ARREYGUE-Rocha E, Garduño V. (2004). Eventos excepcionales e inundaciones en la ciudad de Morelia, Michoacán. *Ciencia Nicolaita*. 39:47-60.

ARREYGUE-Rocha E, Garduño V, Canuti P, Casagli N, Iotti A. (2005). Riesgos geológicos y geomorfológicos de la ciudad de Morelia, Michoacán, México. *Geotermia*. 18:26-36.

ARREYGUE-Rocha E. (2007). Evaluación de las constantes inundaciones en la ciudad de Morelia, Michoacán, México. 8vo Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. Perú. Octubre.

ASHBY W. (1958). Requisite variety and its implications for the control of complex systems. *Cybernetica* 1(2): 83-99.

AVILA A, Campos V, Tripp M, Marter T. (2012). El papel del Estado en la gestión urbano-ambiental: el caso de la desregulación en la ciudad de Morelia, Michoacán. *Revista Legislativa de Estudios Sociales y de Opinión Pública*. 5(9):145-179.

AXELROD R. (1984). *The Evolution of Cooperation*. Basic Books.

AXELROD R, Cohen M. (1999). *Harnessing Complexity-Organizational Implications of a Scientific Frontier*. New York: The Free Press.

BAKER S, Kousis M, Richardson D, Young S. (1997). *The politics of Sustainable Development. Theory, policy and practice within the European Union*. London: Routledge. UK.

BECK U. (2002). *La sociedad del riesgo global*. Siglo Veintiuno de España Editores. Madrid.

BECKERMAN W. (1972). Economists, Scientists and Environmental Catastrophe. *Oxford economics papers*, New Series. 24(3): 327-344.

BELL S, Morse S. (2005). Holism and understanding sustainability. *Systemic Practice and Action Research*, 18(4):409-426.

BERKES F. (2007). Understanding uncertainty and reducing vulnerability: lessons from resilience thinking. *Natural Hazards*. 41:283-295.

BERTALANFFY VON L. (1976). *Teoría General de los Sistemas*. Fondo de Cultura Económica. México. D.F

BONABEAU, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *PNAS: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(3): 7280-7287.

BID. (1999). *Reducción de la vulnerabilidad ante desastres naturales: lecciones aprendidas del huracán Mitch*. Documento estratégico sobre gestión ambiental. Suiza. Recuperado en <http://www.cridlac.org/digitalizacion/pdf/spa/doc11606/doc11606.htm>

BID. (2011). *Estrategia social para la equidad y productividad América Latina y el Caribe*. Washington: BID. Recuperado en <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36706207>

BIRKMANN J. (2006). Indicators and Criteria for Measuring Vulnerability: Theoretical bases and requirements. En Birkmann J, comp. *Measuring Vulnerability to Natural Hazards, towards resilient societies*. 55-77. United Nations University. Hong Kong.

BIRKMANN J. (2006). Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual frameworks and definitions. En Birkmann J, comp. *Measuring Vulnerability to Natural Hazards, towards resilient societies*. 9-54. United Nations University. Hong Kong.

BRIDGER J.C. *et al.* (2001). "Building the sustainable community: Is social capital the answer?" *Sociological Inquiry*. 71(4):458-472. The University of Texas Press.

CHAUX W. (1993). Vulnerabilidad global. En Maskrey A. compilador. *Los desastres no son naturales*. 37-49. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Octubre. Colombia: La Red. Recuperado en <http://www.oei.es/decada/portadas/Desnat.pdf>

CHU D, Strand R, Fjelland R. (2003). Theories of complexity: Common denominators of complex systems. *Complexity*. 8(3):19-30.

CIGNA F, Osmanoglu B, Cabral-Cano E, Dixon T, Avila-Olivera J, Garduño V, DeMets C, Wdowinski S. (2012). Monitoring land subsidence and its induced geological hazard with Synthetic Apertur Radar Interferometry: A case study in Morelia, Mexico. *Remote sensing of Environment*. 117:146-161.

CLARK W, Jaeger C, Corell R, Kasperson R, McCarthy J, Cash D, Cohen, Desanker P, Dickson N, Epstein P, Guston D, Hall J, Jaeger C, Janetos A, Leary N, Levy M. (2000) Assessing Vulnerability to Global Environmental Risks. Discussion Paper 2000-12, Environment and Natural Resources Program, Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, September.

CLAYTON A, Radcliffe N. (1996). *Sustainability. A Systems Approach*. Earthscan Publications Limited. London UK.

CASTLE, C., Crooks A. (2006). Principles and Concepts of Agent-Based Modelling for Developing Geospatial Simulations, Centre for Advanced Spatial Analysis (University College London), Working Paper 110, London.

CHEN X, Zhan F. (2008). Agent-based modelling and simulation of urban evacuation: relative effectiveness of simultaneous and staged evacuation strategies. *Journal of the Operational Research Society* 59: 25–33

COHEN J, Stewart I. (2000). *The collapse of chaos, discovering simplicity in a complex world*. London: Penguin Books.

COHEN M, Axelrod R. (1984). The adaptive value of changing utility. *The American Economic Review*. 74(1):30-42.

CORONA N. (2009). *Vulnerabilidad de la ciudad de Morelia a Inundaciones*. Tesis de maestría. Centro de Investigaciones Geográfica Ambiental-Universidad Nacional Autónoma de México.

COWAN G. (1999). Opening Remarks. En Cowan *et al.* compiladores: *Complexity, metaphors, models and reality*. Perseus Books Editorial. Cambridge, Ma. USA

CUTTER S. (1996). Vulnerability to environmental hazards. *Progress in human geography*. 20(4):529-539.

CUTTER S, Boruff B, Shirley L. (2003). Social vulnerability to natural hazards. *Social Science Quarterly*. 84(2):242-261.

CUTTER S. (2003). The Vulnerability of Science and the Science of Vulnerability. *Annals of the Association of American Geographers*. 93(1):1-12.

CUTTER S, Finch C. (2008). Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 105(7):2301-2306.

DEITEL, H. M.; Deitel, P. J. (2003). *Cómo Programar en Java* (5ta ed.). Prentice. México.

DE JONG K, Potter M. (1995). Evolving Complex Structures via Cooperative Coevolution. *Fourth Annual Conference on Evolutionary Programming*. San Diego, CA.

Dirección Estatal de Protección Civil. (2013). Plan de Fenómenos Hidrometeorológicos de Michoacán. Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo. Versión digital.

Dirección General de Protección Civil. (2005). Sistema de Información de riesgos del Estado de Michoacán. Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo.

DURLAFF S. (1997). What should policy makers know about economic complexity? Santa Fe Institute Working Paper 97-10-080. Santa Fe Institute. New Mexico. USA

DOUGLAS M, Wildavsky A. (1983). *Risk and Culture*. University of California Press.

ECHEVERRÍA B, Ochoa L, Landa L, Rojas R. (2008). A mexican city case study (Morelia, Michoacán) about buildings and infrastructure damages from active geological faults. *Fourteenth World Conference on Earthquake Engineering*. October. Beijing China.

Foro Económico Mundial. (2013). *Global Risks 8th edition*. Suiza. Recuperado en <http://www.weforum.org/reports/global-risks-2013-eighth-edition>.

FRIEDMAN J, Weaver C. (1980). *Territory and function*. The evolution of regional planning. Berkeley, University of California Press.

FROYLAN A. (2013). *Modelación no-lineal de los principales sistemas de producción animal para hacer sustentable la cuenca del lago de Cuitzeo*. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico del Valle de Morelia.

FUNTOWICZ S, Ravetz, J. (1994). The worth of a songbird; ecological economics as a post-normal science. *Ecological Economics*. 10:197-207.

GARDUÑO V, Arregue-Rocha E, Isráde-Alcantara I, Rodríguez-Torres G. (2001). Efectos de las fallas asociadas a la sobreexplotación de los acuíferos y la presencia de fallas potencialmente sísmicas en Morelia, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 18:37-54.

GARZA G. (2007). Climatología histórica: las ciudades mexicanas ante la sequía. *Investigaciones Geográficas*. 63:77-92.

GELL-MANN M. (1999). Complex Adaptive Systems. En Cowan *et al.* compiladores: *Complexity, metaphors, models and reality*. 103-142. Perseus Books Editorial. Cambridge, Ma.

GILBERT N. (2004). *Agent-based social simulation: dealing with complexity*. Centre for Research on Social Simulation. University of Surrey.

GILBERT N, Troitzch K. (1999). *Simulation for the social scientist*. Open University Press. Buckingham, Philadelphia.

GROSS D, Strand R. (2000). Can agent-based models assist decisions on large-scale practical problems? A philosophical analysis. *Complexity*, 5(6), 26-33.

GUNNINGHAM N. (2002). Beyond Compliance: Next Generation Environmental Regulation. Documento *presentado en Current Issues In Regulation: Enforcement and Compliance Conference* convened by the Australian Institute of Criminology in conjunction with the Regulatory Institutions Network, RSSS, Australian National University and the Division of Business and Enterprise, University of South Australia and held in Melbourne, 2-3 September.

GUNNINGHAM N, Kagan R, Thornton D. (2004). Social License and Environmental Protection: Why Businesses Go beyond Compliance. *Law & Social Inquiry*. 29:307-315.

HARE M, Deadman P, Kim L. (2001). Towards a taxonomy of Agent-based Simulation Models in Environmental Management. International Congress on Modeling and Simulation Proceedings. The Australian National University. December.

HERNÁNDEZ-Guerrero J, Vieyra-Medrano A, Mendoza M. (2012). Adaptation Strategies in communities under precarious housing: Flooding risk in the peri-urban sector of the city of Morelia, Michoacán, México. *Applied Geography*. 34:669-679.

HEYLIGHEN F. (1999). The Growth of Structural and Functional Complexity During Evolution. En Heylighen *et al.* compiladores: *The Evolution of Complexity—The Violet Book of “Einstein Meets Magritte”*. 17-44. Kluwer Academic Publishers and VUB University Press. The Netherlands.

HILHORST D, Bankoff G. (2008). Mapping Vulnerability. En Bankoff G, Frerfs G, Hilhorst D. compiladores: *Mapping Vulnerability, Disasters, Development and People*. 1-9. Earthscan. UK.

HILHORST D. (2008). Complexity and diversity: unlocking social domains of Disaster Response. En Bankoff G, Frerfs G, Hilhorst D. *Mapping Vulnerability, Disasters, Development and People*. 52-66. Earthscan. UK.

HINKEL J. (2011). Indicators of vulnerability and adaptive capacity: towards a clarification of the science-policy interface. *Global environmental change* 21. 1:198-208.

HOLLAND J. (1996). *Hidden Order: How Adaptations Builds Complexity*. Addison-Wesley. Redwood City, CA.

HOLLAND J. (2006). Studying Complex Adaptive Systems (CAS). *Journal Systems Science and Complexity*. 19:1-8.

HOLLING C. (2001). Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. *Ecosystems*. 4:390-405.

IFRC. (2010). *World Disaster Report 2010. Focus on urban risk*. Disponible en www.ifrc.org

INEGI. (2010). *Censo de Población y Vivienda*. Resultados definitivos. Instituto Nacional de Geografía y Estadística.

INEGI. (2010). Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo. Instituto Nacional de Geografía y Estadística.

INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Morelia, Michoacán de Ocampo*. Clave geodésica 16053.

INEGI. (2005). *Anuario Estadístico de Michoacán*. Instituto Nacional de Geografía y Estadística.

INEGI. (2000). *Anuario Estadístico de Michoacán*. Instituto Nacional de Geografía y Estadística.

INEGI. (1995). *Anuario Estadístico de Michoacán*. Instituto Nacional de Geografía y Estadística.

INEGI. (1990). *Anuario Estadístico de Michoacán*. Instituto Nacional de Geografía y Estadística.

ISARD W. (1956). *Location and space economy*. The Technology Press of the Massachusetts Institute of Technology. New York. Disponible en http://archive.org/stream/locationpaceeco00isar/locationpaceeco00isar_djvu.txt

KAY C. (1998). Estructuralismo y teoría de la dependencia en el período neoliberal. *Nueva Sociedad*. 158:100-119.

KUZNETZ S. (1955). Economic Growth and income inequality. *The American Economic Review*. 45(1):2-28.

LUCAS C. (2003). *The Complexity & Artificial Life Research Concept for Self-Organizing Systems*. Recuperado en <http://www.calresco.org>

MARTÍNEZ-GARCÍA A, Anderson J. (2007). Cárnico-ICSPEA2—a metaheuristics co-evolutionary navigator for a complex co-evolutionary farming system. *European Journal of Operational Research* 179:634:655.

MARTINEZ-GARCIA A. (2010). *The Complex Co-Evolutionary Systems Approach: A case study in Mexico - The management of sustainable grasslands*. Saarbrücken, DE: Lambert Academic Publishing.

MARTÍNEZ-GARCIA A. (2012). Ingeniería de Sistemas Complejos Coevolutivos Sustentables. *C+Tec*. Consejo Estatal de Ciencia. 9:40-42.

MENDEZ Y, Martínez-García A. (2012). *El enfoque de sistemas complejos coevolutivos como marco referencial para el manejo sustentable de la cuenca del Lago de Cuitzeo*. En Bravo-Espinosa, M., G. Barrera-Camacho, M.E. Mendoza, J.T. Sáenz, F. Bahena-Juárez y R. Sánchez-Martínez (eds.). *Contribuciones para el Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago de Cuitzeo*, Michoacán. INIFAP-Campo experimental Uruapan, Michoacán. UNAM-Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Morelia, Michoacán, México.

MITCHELL M. (2009). *Complexity: a guided tour*. Oxford University Press. USA.

MYRDAL G. (1959). *Teoría económica y regiones subdesarrolladas*. Fondo de Cultura Económica. México.

NAGAMATSU S. (2008). Measuring disaster coping capacity of local community for better risk governance. Global Risk Forum Davos. Presentación PPT. Recuperado en http://idrc.info/userfiles/image/presentations2008/Nagamatsu_Shingo_Measuring_Disaster_Coping_Capacity_of_Local_Communities_for_Better_Risk_Governance.pdf

OCAMPO A. (2012). La historia y los retos del desarrollo latinoamericano. Naciones Unidas. Cepal. Recuperado en <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/7/48677/Lahistoriaylosretos.pdf>

ORESQUES N, Shrader-Frechette K, Belitz K. (1994). *Verification, validation and confirmation of numerical models in earth sciences*. Science (263): 641-645.

PADILLA V, Dávila J. (2011). Simulación multi-agente para gestión de desastres y reducción de riesgo. *Revista Ciencia e Ingeniería*. Edición especial: “Jornada de Modelado y Simulación”: 21-30.

Periódico Oficial del Gobierno Constitucional del Estado de Michoacán. (2004). Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Morelia. 18 de Noviembre. Morelia, Michoacán.

Periódico Oficial del Gobierno Constitucional del Estado de Michoacán. (2010). Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Morelia. 14 de Julio. Morelia, Michoacán.

Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. (2007). *Informe sobre desarrollo humano Michoacán*. PNUD. México.

PREBISCH R. (1948). El desarrollo económico de América Latina y algunos de sus principales problemas. Naciones Unidas. CEPAL. Recuperado en http://prebisch.cepal.org/sites/default/files/2013/prebisch_el_desarrollo_eco.pdf

- PRETTY J. (1996). Sustainability works. *Our Planet* 8.4. Noviembre.
- PUTNAM R. (2001). The prosperous community, social capital and public life. *The American prospect*. 13. Recuperado en <http://prospect.org/article/prosperous-community-social-capital-and-public-life>
- RAMOS A, Martínez-García A, Hernández V. (2013). La administración con un enfoque de sistemas complejos coevolutivos sustentables: un nuevo paradigma para las MIPYMES. En López M, Espitia I, Chávez P, Gutiérrez G, comp: *Gestión e Innovación en las Ciencias Administrativas y Contables*. 2482-2492. Facultad de contaduría y ciencias administrativas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.
- REYNA A. (2001). Algunas contribuciones de la demografía al estudio de los desastres. En Garza M, Rodríguez D, compiladores. *Los desastres en México, una perspectiva multidisciplinaria*. 39-58. UNAM, Universidad Iberoamericana AC. México.
- RODRIGUEZ D. (2001). Desastre y vulnerabilidad. Entre las ciencias naturales y las ciencias sociales. En Garza M, Rodríguez D, compiladores. *Los desastres en México, una perspectiva multidisciplinaria*. 19-38. UNAM, Universidad Iberoamericana AC. México.
- ROS J. (2004). *La teoría del desarrollo y la economía del crecimiento*. Fondo de Cultura Económica. México.
- RÓZGA R. (2005). Teorías y modelos contemporáneos del desarrollo regional. En Torres P. Comp., *Desarrollo Regional y sustentabilidad en México*. 63-110. Universidad Autónoma de Xochimilco. El Colegio de Sonora. México.
- SALVATORE D, Dowling E. (1979). *Desarrollo Económico*. McGrawHill. Colombia.
- SEGOB. (2004). Programa especial de prevención y mitigación del riesgo de desastres 2001-2006. México. Recuperado en http://cambioclimatico.inecc.gob.mx/descargas/prog_prevenccion_desastres.pdf
- SCHNEIDERBAUER S, Ehrlich D. (2006). Social levels and hazard (in) dependence in determining vulnerability. En Birkman J. compilador: *Measuring vulnerability to Natural Hazards*. 78-102. United Nations University Press.
- SILVA I. (2003). *Metodología para las estrategias del desarrollo local*. Serie Gestión Pública. 42. CEPAL – ILPES.
- STERMAN J. (2001). System Dynamics Modeling: Tools for learning in a complex world. *California Management Review*. 43(4):8-25.
- STRONG M. (1972). The United Nations and the Environment. *International Organization*. 26(2).

The South Commission. (1990). *The challenge to the south: The report of the South Commission*. Oxford University Press.

TORRES M. (2012). “Modelación-simulación basada en agentes del uso de posibles puntos de palanca para hacer sustentables a los sistemas complejos coevolutivos agropecuarios peri-urbanos de Tarímbaro, Michoacán”. Tesis de Ingeniería. Instituto Tecnológico de Morelia. Morelia, Michoacán.

TURNER B. (2010). Vulnerability and resilience: Coalescing or paralleling approaches for sustainability science? *Global Environmental Change*. 20:570-576.

UN. (1968). Resolución 2398 de la XXIII período de sesiones. Recuperado en <http://daccess-dds-ny.un.org/doc/RESOLUTION/GEN/NR0/247/12/IMG/NR024712.pdf?OpenElement>

UN. (1987). Our Common Future. Report of the World Commission on Environment and Development. Recuperado en <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>.

UNDP. (1990). Human Development Report 1990. Recuperado en <http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr1990/>

UNDP. (2004). *Reducing Disaster Risk, A Challenge for development*. Bureau for Crisis Prevention and Recovery. Nueva York. Recuperado en http://www.undp.org/cpr/whats_new/rdr_english.pdf. (05/07/2011)

UNDP. (2013). Human Development Report 2013. Recuperado en <http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2013/>

UNISDR. (2004). *Living with Risk: A global review of disaster reduction initiatives, 2004 version*. Recuperado en http://www.unisdr.org/files/657_1wrsp.pdf

UNISDR. (2009). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. Naciones Unidas. Ginebra, Suiza. Recuperado en http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf

VAZQUEZ A. (2005). Desarrollo Económico Local y Descentralización. En Solari A, Martínez J Comp. *Desarrollo local, textos cardinales*. Facultad de Economía. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

VOGEL C, Moser S, Kaspersen R, Dabelko G. (2007). Linking vulnerability, adaptation and resilience science to practice: pathways, players and partnerships. *Global environmental change*. August-October. 17:349-364.

VON HALDENWANG C. (2000). Nuevos conceptos de la política regional en Alemania: Aportes para la discusión latinoamericana. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Chile.

WATERSON A. (1979). *La planificación del desarrollo. Lecciones de la experiencia*. Fondo de Cultura Económica. México.

WEAVER W. (1948). *Science and complexity*. American Scientist. Vol 36: 536-544.

WILENSKY U. (1999). NetLogo. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL. Recuperado en <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>.

WINSLOW A. (1967). El experto en ayuda técnica. En Hambidge G. Compilador: *La dinámica del desarrollo*. Ed. Norma. Colombia. 249-273.

ANEXOS

Anexo 1. Conceptualizaciones sobre Vulnerabilidad

Autor	Definición sobre vulnerabilidad
Wilchex-Chaux (1993)	La incapacidad de una comunidad para absorber mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente, o sea su inflexibilidad o incapacidad para adaptarse a ese cambio, que para la comunidad constituye un riesgo
BID (1999)	Cualquier condición de susceptibilidad a impactos externos que pudieran amenazar las vidas y estilos de vida de las personas, los recursos naturales, las propiedades e infraestructura, la productividad económica y prosperidad de una nación
Cutter (2003)	Define la ciencia de la vulnerabilidad como aquella que estudia las situaciones que ponen a la sociedad y a los lugares en riesgo, así como a las condiciones que reducen la habilidad de las personas y de los lugares a responder ante amenazas ecológicas.
Rodríguez (2009)	Grado relativo de pérdida o daño, ocurrido como resultado de una amenaza sobre una región dentro de la cual existe población (o bienes) expuesta
PNUD (2004)	Analiza la vulnerabilidad como el concepto que explica por qué, con un nivel dado de exposición física, hay personas con mayor o menor nivel de riesgo. Esta definición reconoce que la vulnerabilidad es modificada por la capacidad de adaptación y de enfrentamiento a distintas circunstancias
Hernández (2010)	Analizando la escasez de agua, define a la vulnerabilidad como el ser susceptible de sufrir daño y tener dificultad para recuperarse ante la presencia de un fenómeno natural.
Turner (2010)	Grado en el que los sistemas acoplados humano – ambientales (CHES por sus siglas en inglés) son susceptibles de daño dada la exposición a amenazas.

Hinkel (2011) Señala que dada la amplia gama de definiciones de vulnerabilidad y la escasa guía para medir la vulnerabilidad, cada trabajo que la desee medir, debe recurrir al ámbito específico de su estudio y a las preguntas de políticas públicas que se busquen responder.

Fuente: Elaboración propia en base a Cutter (2003), Turner (2010), Hinkel (2011), BID (1999), Wilches Chau (2003), Hernández (2009), PNUD (2004).

Anexo 2. Marcos conceptuales sobre la vulnerabilidad

Marco conceptual	Concepto de vulnerabilidad
Doble Estructura	La vulnerabilidad puede ser vista como un concepto que tiene lados internos (capacidad de hacer frente a los desastres naturales, a resistirlos y a recuperarse de los mismos) y externos (la exposición a los riesgos y a los choques). La vulnerabilidad es el resultado de la interacción de ambas capas.
Medio de vida sustentable	Se combinan cinco elementos fundamentales (humano, natural, financiero, social y físico), un contexto de vulnerabilidad (shocks, tendencias y temporalidad), la influencia para transformar estructuras y procesos (gobiernos, sector privado en relación a las estructuras, y leyes, policías, cultura e instituciones como procesos), así como sus resultados (ingreso, bienestar vulnerabilidad, seguridad alimentaria, uso sustentable de recursos naturales, etc.). Tanto las estructuras y sus procesos, influyen en el contexto de la vulnerabilidad y son determinantes en la obtención de los medios de vida de la población. En este circuito, el empoderamiento de los grupos marginados es visto como una herramienta eficaz para reducir la vulnerabilidad. Tanto las estructuras transformantes como sus procesos, son entendidos como las causas predominantes de la vulnerabilidad.
Riesgo ante desastres	Existe una marcada diferencia entre los conceptos de vulnerabilidad, resiliencia y capacidad de hacer frente. Dentro de dicho marco, el riesgo se estudia como un término que analiza la exposición, las amenazas, la vulnerabilidad y las medidas de capacidad. La

	<p>vulnerabilidad se entiende como una estructura que tiene cuatro dimensiones: física, social, económica y ambiental. A pesar de ser tan puntual en la diferenciación conceptual, no es específica la explicación sobre cómo la vulnerabilidad está ligada al riesgo.</p>
<p>Comunidad del cambio ambiental global</p>	<p>Incorpora la sustentabilidad a través de los sistemas acoplados humano-ambientales e identifican una serie de elementos que deben incluirse en el análisis de la vulnerabilidad. El término abarca un análisis más amplio en el que se incluye la exposición, la capacidad de respuesta, el impacto-respuesta, el afrontamiento-respuesta y la respuesta de adaptación dentro del mismo concepto. Existen vínculos más específicos entre el ser humano y el ambiente, por lo que parece haber relaciones que explican con más claridad la relación entre riesgo y vulnerabilidad. Se describe a la vulnerabilidad como el grado en el que un sistema, subsistema o componente de sistema puede experimentar daño dada la exposición a una amenaza o a un factor estresante.</p>
<p>El marco cebolla</p>	<p>Observa particularmente los daños que pueden ser percibidos en las esferas físicas y sociales. Al analizar las pérdidas tras el impacto de un fenómeno extremo, propone analizar si las pérdidas llegaron a valores intangibles como la confianza. Por lo que este marco conceptual maneja por un lado valores tangibles (monetarios) e intangibles (como la confianza) que se encuentran en el corazón del sistema</p>
<p>Modelo de presión y liberación (PAR por sus siglas en inglés)</p>	<p>Analiza la vulnerabilidad como la intersección de dos fuerzas mayúsculas, por un lado, los procesos que generan vulnerabilidad y por otro, la amenaza de un evento natural. Es dentro de este marco que el riesgo se expresa como el resultado de la interacción entre amenazas y la vulnerabilidad, expresándose como una multiplicación entre ambos. Dentro de este entendimiento, la vulnerabilidad se clasifica en tres niveles progresivos: las causas de la raíz, las presiones dinámicas y las condiciones inseguras. Las causas de raíz se refieren al acceso que la población tenga al poder, a las estructuras y a los recursos. Las presiones dinámicas tienen un aire institucional (instituciones, capacitación, inversión local, libertad de prensa, rápida urbanización, deforestación, entre otros). En la esfera de las condiciones</p>

inseguras toma en cuenta aspectos físicos del medio ambiente, la economía local, las relaciones sociales y las instituciones y las acciones públicas. La combinación de estas capas da como resultado la vulnerabilidad.

Valoración holística del riesgo y la vulnerabilidad

Reconoce que la vulnerabilidad puede darse en tres niveles. En un primer término, se refiere a la fragilidad física del entorno de acuerdo a las amenazas a las que se enfrenta (*hard risk*). En segundo lugar, detallan la fragilidad del sistema socioeconómico, que no depende de las amenazas (*soft risk*). Por último la falta de resiliencia para hacer frente y recuperarse. Este análisis provee un sentido amplio que intenta dar cuenta de la vulnerabilidad a partir de una diferenciación clara de la exposición, especificando su tipo. Además, incorpora elementos socio-económicos, así como la resiliencia.

**Bogardi, Birkmann,
Cardona (BBC)**

Mide a la vulnerabilidad en las dimensiones económica, social y ambiental, que son las dimensiones bajo las cuales se desenvuelve el desarrollo sustentable. Abarca, por tanto, la dimensión de la exposición en relación a la susceptibilidad física, a la fragilidad social y económica y en términos de la falta de resiliencia. En esta noción, hace una importante aportación al distinguir la respuesta preparatoria ante las amenazas y la respuesta post-desastre. Además, hace énfasis en el medio ambiente como la esfera en la que se inicia un evento desastroso, así como vulnerable, también a los embates de los eventos extremos. La distinción de las respuestas contribuye a dilucidar la importancia de la preparación ante desastres. Esto nos induce a inferir que la preparación para el desarrollo debe realizarse en base a la reducción del riesgo para disminuir la vulnerabilidad.

Fuente: Birkmann, 2006

Anexo 3. Medición municipal de la pobreza 2010

Porcentaje de la población, número de personas, número promedio de carencias sociales en los indicadores de pobreza, México, 2010

16053 Morelia, 16 Michoacán de Ocampo

Indicadores	Porcentaje	Número de personas	Número promedio de carencias
<i>Pobreza</i>			
Población en situación de pobreza	38.0	335,153	2.7
Población en situación de pobreza moderada	32.1	283,519	2.5
Población en situación de pobreza extrema	5.9	51,635	3.8
Población vulnerable por carencias sociales	32.1	282,863	2.2
Población vulnerable por ingresos	6.1	53,990	0.0
Población no pobre y no vulnerable	23.8	210,274	0.0
<i>Privación social</i>			
Población con al menos una carencia social	70.0	618,017	2.5
Población con al menos tres carencias sociales	28.7	253,596	3.7
<i>Indicadores de carencia social</i>			
Rezago educativo	22.4	197,589	3.1
Acceso a los servicios de salud	39.7	350,124	2.9
Acceso a la seguridad social	58.9	519,658	2.6
Calidad y espacios de la vivienda	11.4	100,213	3.9
Acceso a los servicios básicos en la vivienda	14.1	124,031	3.6
Acceso a la alimentación	25.7	226,808	3.4
<i>Bienestar económico</i>			
Población con ingreso inferior a la línea de bienestar mínimo	10.2	90,228	2.8
Población con ingreso inferior a la línea de bienestar	44.1	389,144	2.3
Fuente: CONEVAL			

Anexo 4. INDICADORES DE VIVIENDA EN MORELIA	
CONCEPTO	2010
Total de viviendas particulares.	190537
Viviendas particulares que disponen de energía eléctrica.	184515
Viviendas particulares que disponen de agua de la red pública en el ámbito de la vivienda.	184515
Viviendas particulares que disponen de drenaje.	184515
Viviendas particulares que disponen de excusado o sanitario.	184515
Viviendas particulares con piso diferente de tierra .	184515
Habitantes que viven en zonas de riesgo por inundaciones.	61180
Habitantes que viven en zonas de riesgo por fallas geológicas.	40422
Total personas que viven en zona de peligro.	101602
Personas que viven en zonas libres de peligro.	627677
Elaboración propia en base a información de INEGI y Protección civil	

Anexo 5. Indicadores de salud en Morelia	
CONCEPTO	2010
Acceso a servicios de salud	343698
Mayor a 60 y menor de 6 años	127243
Condición de enfermedad o discapacidad	558314
Elaboración propia en base a información de INEGI y CONEVAL	

Anexo 6. Indicadores de educación en Morelia	
CONCEPTO	2010
Rezago educativo	197589
Estudios técnicos o preparatoria terminada	209445
Nivel profesional	119424
Tiene posgrado	12256
Total	538714
Elaboración propia en base a CONEVAL e INEGI	

Anexo 7: Indicadores de ocupación en Morelia

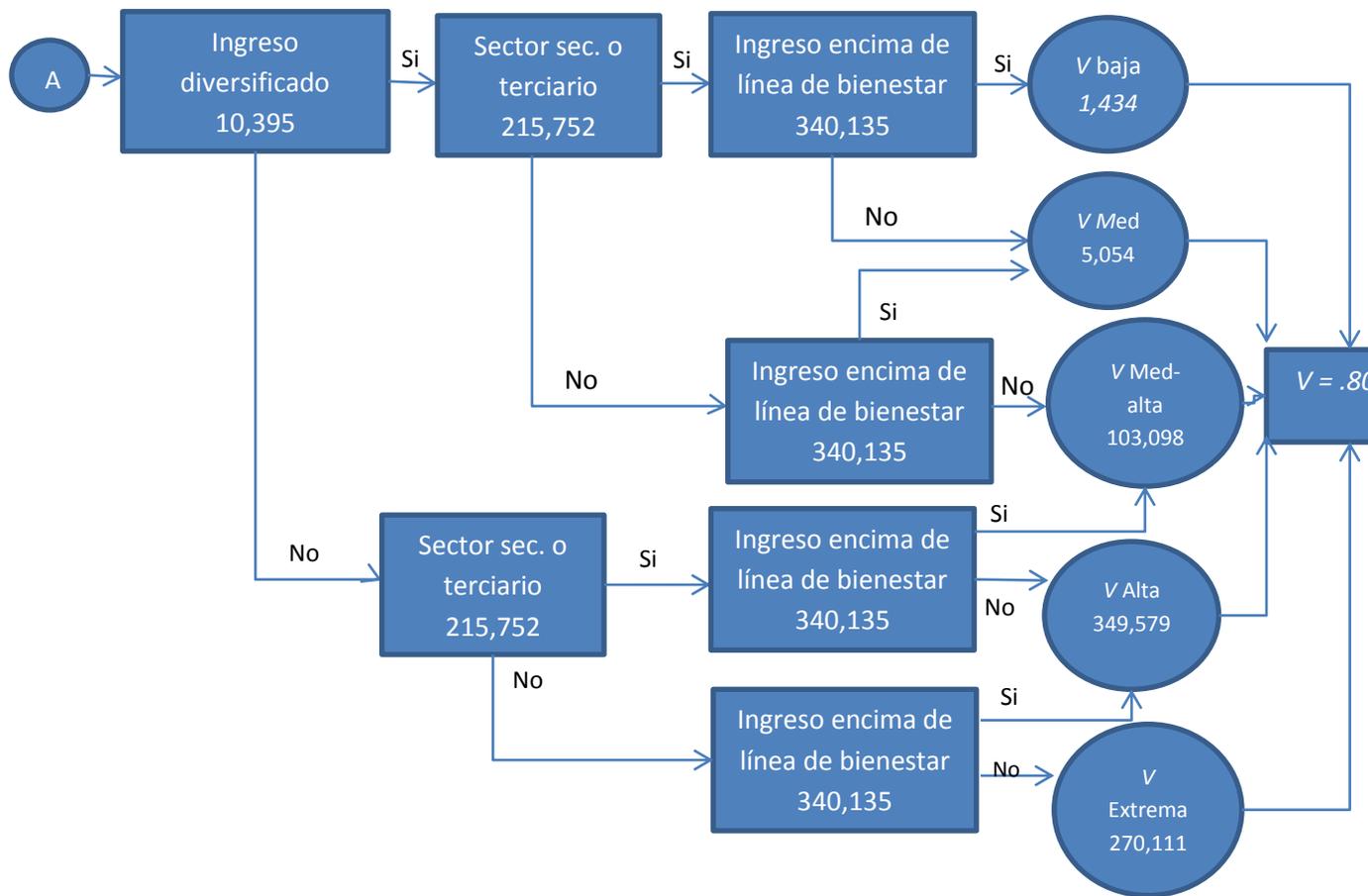
CONCEPTO	2010
Sector secundario o terciario	215,752
Población por debajo de la línea de bienestar CONEVAL	389144
Ingreso diversificado	10,395
Elaboración propia en base a CONEVAL e INEGI	

Anexo 8: Censo de población y vivienda 20

CLAVE	NOMBRE	Número de ocupantes	Tipo y clase de vivienda	Clase de vivienda particular	Material en pisos	Admisión de agua del excusado	Disponibilidad de agua	Disponibilidad de energía eléctrica	Conexión de agua del excusado	Disponibilidad de drenaje	Disponibilidad de excusado
Clave	Nombre	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total
16	Michoacán de Ocampo	1082772	1082772	1066061	1066061	1066061	1066061	1066061	1066061	1066061	1066061
16053	Morelia	190537	190537	184515	184515	184515	184515	184515	184515	184515	184515
16001	Acuitzio	2680	2680	2676	2676	2676	2676	2676	2676	2676	2676
16002	Aguililla	4103	4103	4098	4098	4098	4098	4098	4098	4098	4098
16003	Álvaro Obregón	5019	5019	4971	4971	4971	4971	4971	4971	4971	4971
16004	Angamacutiro	3746	3746	3743	3743	3743	3743	3743	3743	3743	3743
16005	Angangueo	2333	2333	2331	2331	2331	2331	2331	2331	2331	2331
16006	Apatzingán	30124	30124	29975	29975	29975	29975	29975	29975	29975	29975
16007	Aporo	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726
16008	Aquila	4955	4955	4939	4939	4939	4939	4939	4939	4939	4939
16009	Ario	8743	8743	8734	8734	8734	8734	8734	8734	8734	8734
16010	Arteaga	5262	5262	5076	5076	5076	5076	5076	5076	5076	5076
16011	Briseñas	2661	2661	2660	2660	2660	2660	2660	2660	2660	2660
16012	Buena Vista	10532	10532	10513	10513	10513	10513	10513	10513	10513	10513
16013	Carácuaro	2260	2260	2236	2236	2236	2236	2236	2236	2236	2236
16014	Coahuayana	3626	3626	3610	3610	3610	3610	3610	3610	3610	3610
16015	Coalcomán de Vázquez Palleares	4305	4305	4252	4252	4252	4252	4252	4252	4252	4252
16016	Coeneo	5484	5484	5461	5461	5461	5461	5461	5461	5461	5461
16017	Contepec	7798	7798	7723	7723	7723	7723	7723	7723	7723	7723
16018	Copándaro	2198	2198	2198	2198	2198	2198	2198	2198	2198	2198
16019	Cotija	5165	5165	5155	5155	5155	5155	5155	5155	5155	5155
16020	Cuitzeo	6690	6690	6673	6673	6673	6673	6673	6673	6673	6673
16021	Charapan	2790	2790	2787	2787	2787	2787	2787	2787	2787	2787

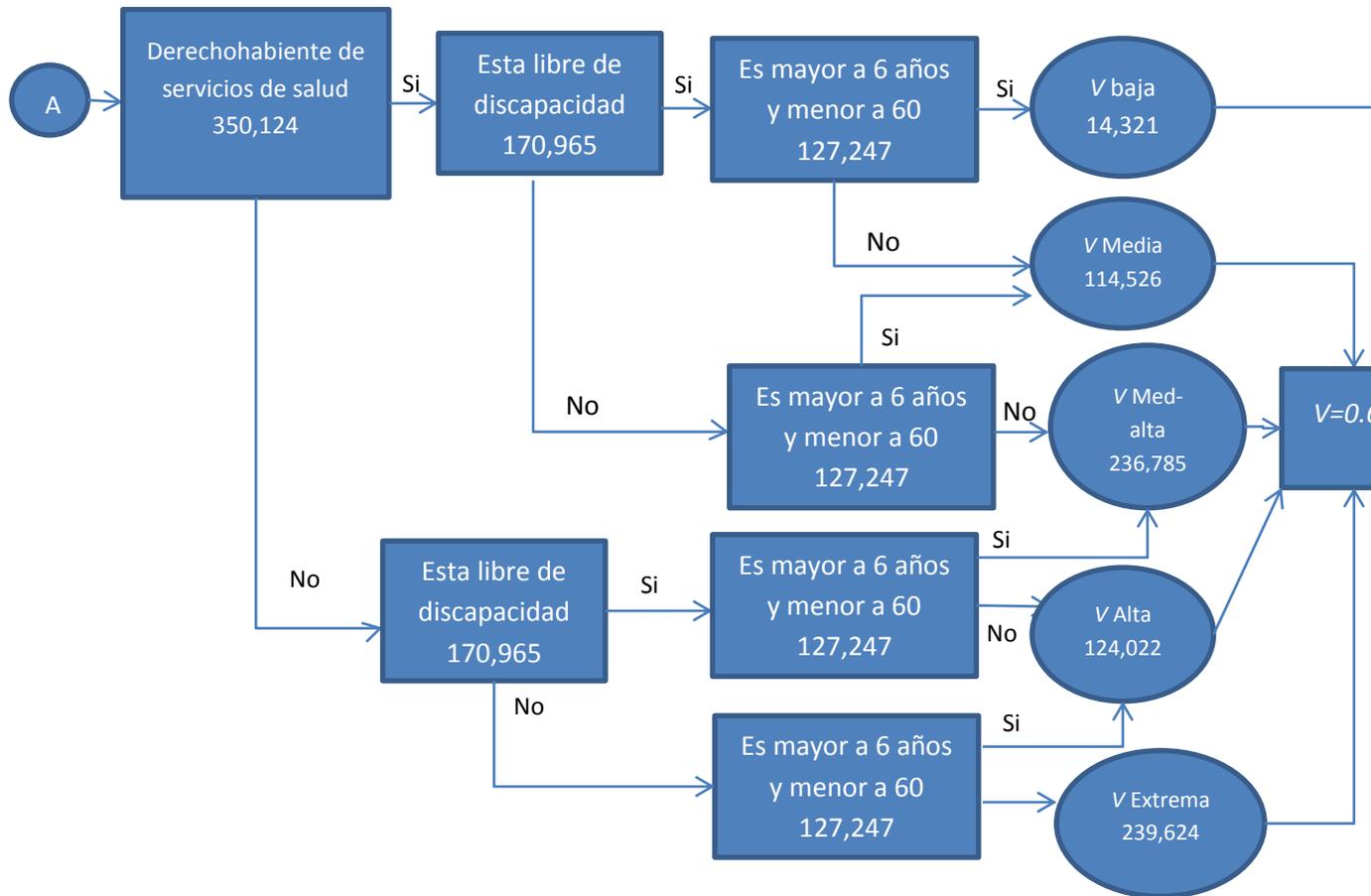
FUENTE: INEGI

Anexo 9. Árbol de decisión subsistema *Ocupación*.



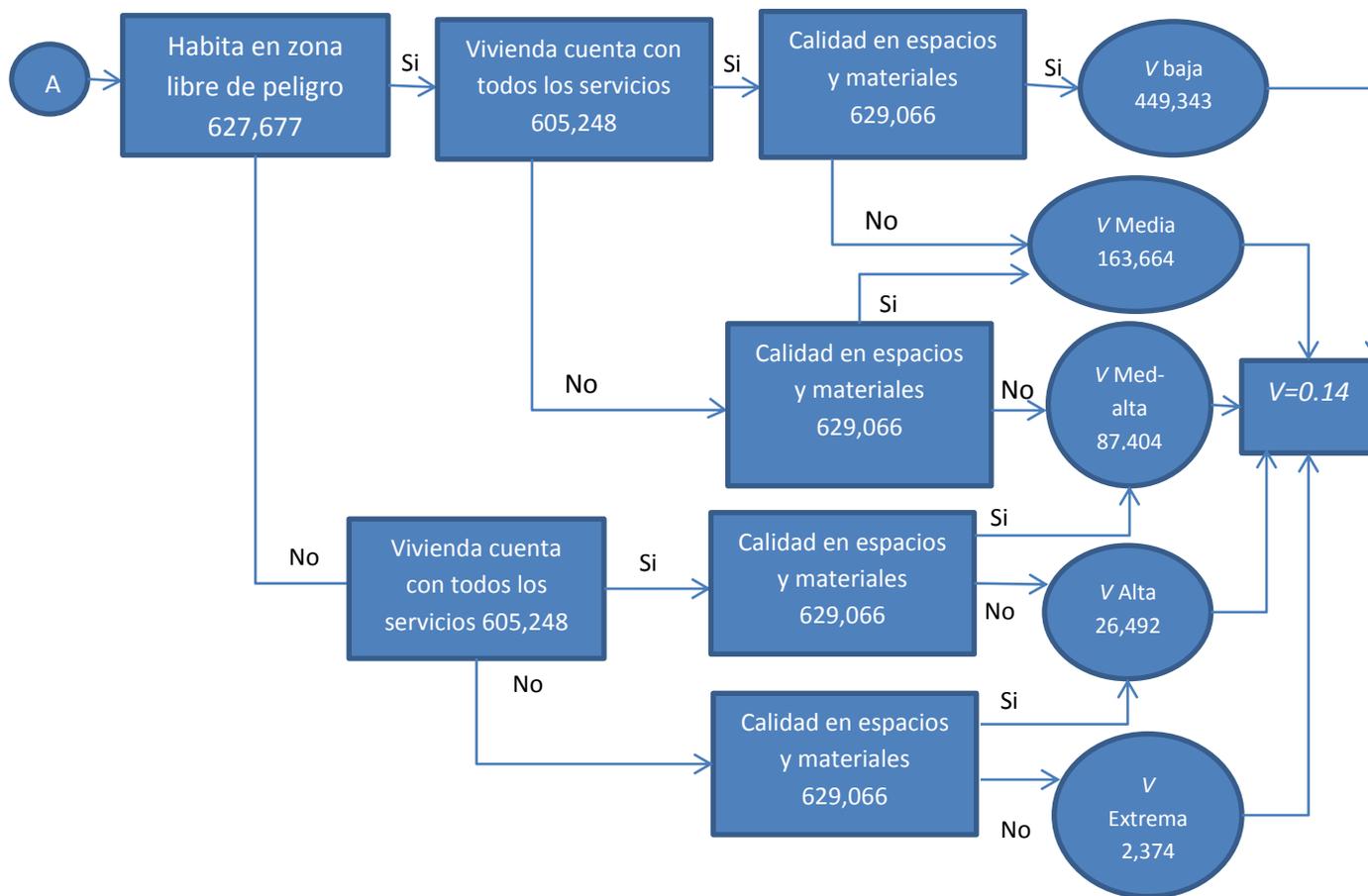
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 10. Árbol de decisión subsistema *Salud*.



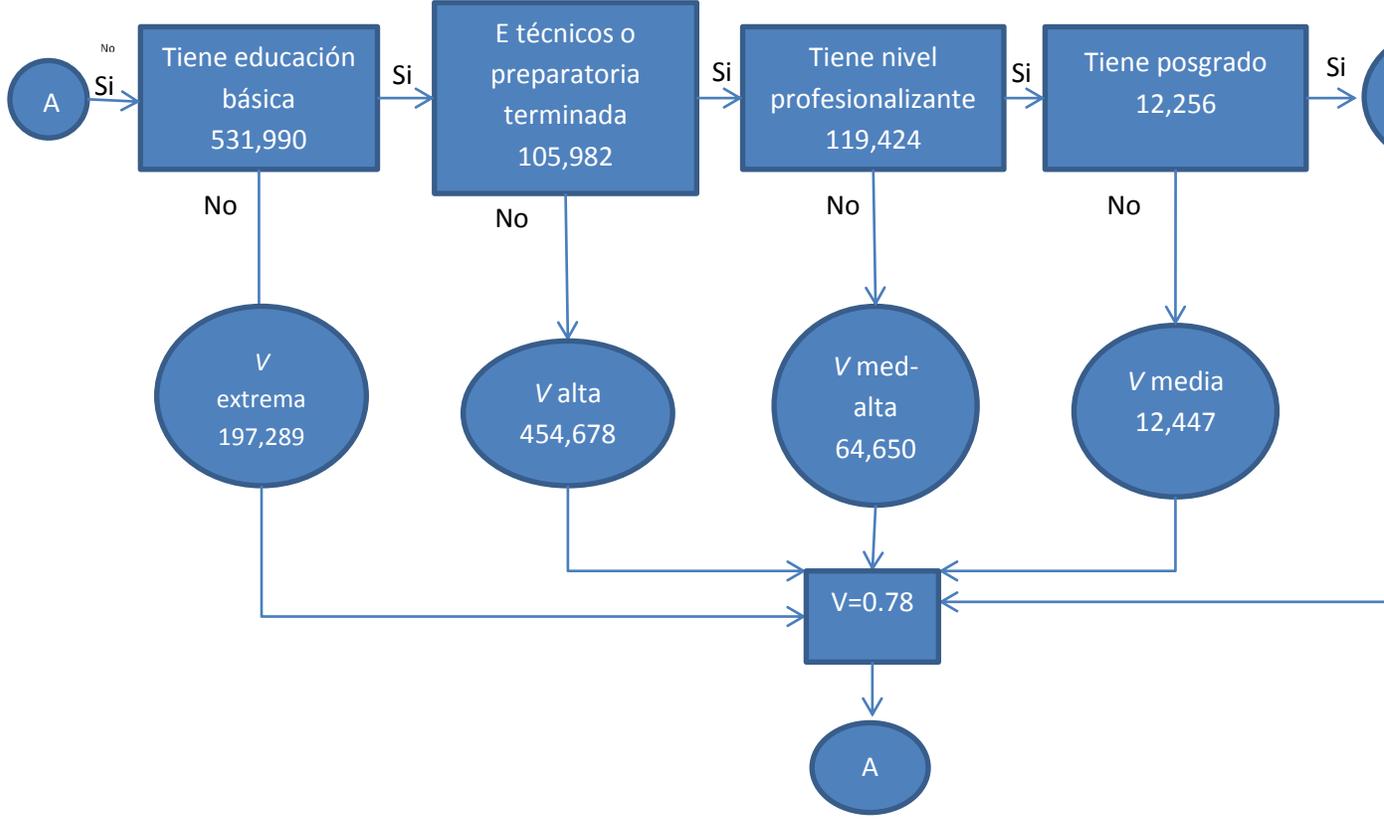
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 11. Árbol de decisión subsistema *Vivienda*.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 12. Árbol de decisión subsistema Educación.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 13. Código de la simulación utilizado en la plataforma NetLogo

```
globals
[ vulnerabilidad
  salud
  educación
  ocupación
  edad
  max-grain
  visión-max
  num-grain-grown
  grain-growth-interval]

patches-own
[grain-here
 max-grain-here]

turtles-own
[visión
 wealth]

to setup
  ca
  set max-grain 52
  set num-grain-grown 4
  set grain-growth-interval 6
  setup-turtles
  setup-patches
  reset-ticks
end

to setup-turtles
  set-default-shape turtles "person"
  crt población
  [
  move-to one-of patches
  set size 1
  variables-inicio
  set edad random expectativa-vida
  medición_vulnerabilidad
  color-turtles]
end

to setup-patches
  ask patches
  [ set max-grain-here 0
    if (random-float 100.0) <= porcentaje-ingreso
      [ set max-grain-here max-grain
        set grain-here max-grain-here ] ]
  repeat 5
  [ ask patches with [max-grain-here != 0]
```

```

    [ set grain-here max-grain-here ]
    diffuse grain-here 0.25 ]
repeat 10
  [ diffuse grain-here 0.25 ]
ask patches
  [ set grain-here floor grain-here
    set max-grain-here grain-here
    recolor-patch ]
end

to recolor-patch
  set pcolor scale-color green grain-here 0 max-grain
end

to variables-inicio
  set salud random-float 1
  set ocupación random-float 1
  set educación random-float 1
  set visión-max 10
end

to medición_vulnerabilidad
  set vulnerabilidad (salud + educación + ocupación) / 3
end

to color-turtles
  if vulnerabilidad >= 0 and vulnerabilidad <= .19
  [set color red
  set visión 1]
  if vulnerabilidad >= .2 and vulnerabilidad <= .39
  [set color yellow
  set visión 2]
  if vulnerabilidad >= .4 and vulnerabilidad <= .59
  [set color pink
  set visión 3]
  if vulnerabilidad >= .6 and vulnerabilidad <= .79
  [set color blue
  set visión 5]
  if vulnerabilidad >= .8 and vulnerabilidad <= 1
  [set color white
  set visión 8]
end

to go
  ask turtles
  [ actualizar-variables
  medición_vulnerabilidad
  crecer-morir
  color-turtles]
  ask turtles

```

```

[ turn-towards-grain]
harvest
  if ticks mod grain-growth-interval = 0
  [ ask patches [ grow-grain ] ]
tick
ask turtles
[actualizar-variables]
end

to actualizar-variables
education
health
if salud < 0.5 and educación < 0.5
[ set ocupación (ocupación - .1)]
  if salud >= 0.51 and educación >= 0.51
[set ocupación (ocupación + (wealth * .1 ) + .1)]
end

to education
set educación (educación + tasa-educación)
end

to health
ifelse salud >= .4
[ set salud (salud + .1)]
[ set salud (salud - .1)]
end

to crecer-morir
ifelse salud <= .5
[set edad (edad + 2)]
[set edad (edad + 1)]
if edad >= expectativa-vida
[reproducción
die]
end

To reproducción
rt random 360
fd 2
hatch tasa-reproducción
set edad 0
variables-inicio
end

to turn-towards-grain
set heading 0
let best-direction 0
let best-amount grain-ahead
set heading 90

```

```

if (grain-ahead > best-amount)
  [ set best-direction 90
    set best-amount grain-ahead ]
set heading 180
if (grain-ahead > best-amount)
  [ set best-direction 180
    set best-amount grain-ahead ]
set heading 270
if (grain-ahead > best-amount)
  [ set best-direction 270
    set best-amount grain-ahead ]
set heading best-direction
end

```

```

to-report grain-ahead
  let total 0
  let how-far 1
  repeat visión
    [ set total total + [grain-here] of patch-ahead how-far
      set how-far how-far + 1 ]
  report total
end

```

```

to grow-grain
  if (grain-here < max-grain-here)
    [ set grain-here grain-here + num-grain-grown
      if (grain-here > max-grain-here)
        [ set grain-here max-grain-here ]
      recolor-patch ]
end

```

```

to harvest
  ask turtles
    [ set wealth floor (wealth + (grain-here / (count turtles-here))) ]
  ask turtles
    [ set grain-here 0
      recolor-patch ]
end

```