

Propuesta metodológica para evaluar la vulnerabilidad por ciclones tropicales en ciudades expuestas

Methodological proposal to assess vulnerability due to tropical cyclones in exposed cities

Marcelino García-Benítez
Salvador Adame-Martínez*

Recibido: mayo 08 de 2017

Aceptado: octubre 02 de 2017

Resumen

Las ciudades son espacios construidos que han modificado elementos ambientales, como el suelo y la vegetación; proceden de un origen físico dentro del paisaje, el cual es más sensible en la medida de que la traza urbana y la infraestructura han evolucionado; además, han consolidado las actividades socioeconómicas locales. El estudio de la vulnerabilidad urbana parte del proceso teórico-conceptual de la vulnerabilidad global, derivado del riesgo que representan los ciclones tropicales en la población. Este trabajo propone una evaluación de la vulnerabilidad propiciada por los ciclones tropicales en ciudades en riesgo de afrontar el impacto de un evento, ubicadas en corredores de tránsito continuo; mediante la construcción de indicadores agrupados en cuatro dimensiones: ambiental, social, económica y urbana, e infraestructura. Los resultados son estandarizados y ponderados para obtener el Índice de Vulnerabilidad Urbana por Ciclones Tropicales (IVUCT). Se espera que en las dimensiones ambiental y urbana e infraestructura se refleje la vulnerabilidad del sistema urbano ante la eventual amenaza de los ciclones tropicales que cruzan a una distancia menor de 10 kilómetros.

Palabras clave: urbanización, vulnerabilidad, ciclones tropicales.

Abstract

Cities are built spaces that have modified environmental elements such as soil and vegetation, they come from a physical origin included within the landscape, which is more sensitive to the extent that urban layout and infrastructure have evolved. In addition, they have consolidated local socio-economic activities. The study of urban vulnerability starts from the theoretical-conceptual process of global vulnerability, derived from the risk represented by tropical cyclones in the population. This paper proposes an evaluation of the vulnerability caused by tropical cyclones in cities at risk of facing the impact of an event, located in continuous traffic corridors; through the construction of indicators grouped into four dimensions: environmental, social, economic and urban, and infrastructure.

* Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Planeación Urbana y Regional, México.
E-mails: geomagabe@gmail.com, sadamem@uaemex.mx

The results are standardized and weighted for Urban Vulnerability Index for Tropical Cyclones (IVUCT). The vulnerability of the urban system to the eventual threat of tropical cyclones that cross at less than 10 kilometers is expected to be reflected in the environmental, urban and infrastructure dimensions.

Keywords: urbanization, vulnerability and tropical cyclones.

Introducción

El conocimiento de los asentamientos humanos implica una intervención física en el territorio. Este proceso no siempre considera su desarrollo, riesgo y vulnerabilidad, sino que se establece como la solución a las necesidades de suelo urbano y se transforma al paisaje en espacios construidos. Para Bottino y Ornés (2009), la urbanización en ciudades es un proceso de concentración de población y actividades económicas que conlleva cambios no sólo ambientales y demográficos sino también económicos y culturales. El establecimiento de normas que regulan el incremento urbano y las actividades económicas ha cambiado el patrón de crecimiento de las ciudades.

Toda ciudad presenta un origen acorde a sus actividades económicas. Con el paso del tiempo, la traza urbana se ha transformado debido a las políticas económicas del país. Sin embargo, durante muchos años, los aspectos de los riesgos y vulnerabilidad de las ciudades estuvo olvidada por los gobiernos. Por ejemplo, el impacto de las amenazas en las ciudades está en función de la localización específica de cada asentamiento, y no sólo depende de la sensibilidad de los sistemas, sino también de su habilidad para adaptarse a las condiciones antropogénicas del clima. La magnitud con la que se presentan los fenómenos naturales es importante en la determinación de su vulnerabilidad (Aguilar, 2004: 272).

Los estudios de vulnerabilidad por ciclones tropicales en ciudades expuestas se relacionan con la exposición y sensibilidad que presentan hacia su interior debido a los procesos de urbanización y a la distribución de la población. Estos estudios han sido desarrollados bajo diversas perspectivas de análisis; una de ellas a través de las dimensiones ambiental, social y económica en distintas escalas geográficas, como la municipal, estatal o nacional. Sin embargo, uno de los problemas recurrentes es la falta de información a escala interurbana; por ejemplo, las secciones electorales. Los trabajos de investigación con esta escala de detalle definen de manera más oportuna la intervención focalizada en los conflictos presentados y ayudan a adoptar medidas de solución a los requerimientos de los afectados que permitan la disminución de daños hacia futuros eventos ciclónicos.

El crecimiento urbano no planificado ha generado amenazas e impacto de los entornos interurbanos en distintos grados. Para Galindo y otros (2004), se deben a problemas de ubicación y a condiciones socioeconómicas de la ciudad y no incluyen los procesos de degradación ambiental relacionados con el incremento de uso de suelo con fines urbanos. Por otro lado, las necesidades de las ciudades por mantener contralado la mancha urbana propician que no se establezcan áreas verdes como una posible solución al calentamiento que enfrentan las zonas de mayor exposición por los ciclones en la región.

Las ciudades, al estar cada vez más fragmentadas, reflejan sus núcleos vulnerables, cinturones de pobreza que requieren atención para disminuir la incapacidad de absorber daños por fenómenos perturbadores en el presente y hacia el futuro sin importar la existencia y calidad de los servicios públicos (Sánchez y otros, 2007). Estas condiciones requieren atención de forma multidisciplinar para atender las situaciones de vulnerabilidad al interior de las ciudades, además de mejorar la infraestructura básica (electrificación, redes de distribución de agua potable, drenaje pluvial, pavimentación de las calles, etc.) a fin de aumentar las capacidades de adaptación de los grupos sociales vulnerables.

Las localidades dañadas en Cuba es un caso que se presenta como indicador. Para determinar la exposición de las localidades más deterioradas en los últimos 25 años por ciclones tropicales en la región central de ese país, se emplearon Sistemas de Información Geográfica. Para definir los vientos predominantes de los huracanes y los diferentes niveles de vulnerabilidad a escala urbana, se clasifican los tipos de inmuebles y se establecen prioridades respecto a la rehabilitación constructiva del fondo habitacional (Valdivia, 2008).

Según Chardon y González (2002), los criterios de evaluación de los diversos tipos de vulnerabilidad que pueden presentarse en una ciudad están en función de las condiciones ambientales regionales, es decir, es un factor para redimir la intensidad de los fenómenos extremos y su nivel de impacto en la sociedad urbana. La integración de la gestión de riesgo a la vulnerabilidad en las ciudades es uno de los problemas que más atañe a la sociedad en diferentes regiones del mundo. Son casos de estudio para llamar a la sociedad y a los gobiernos a mejorar el bienestar de los ciudadanos con carencias o falta de servicios. Por ello, se requiere atender al sector social menos favorecido, aunque no siempre se logre mejorar su situación (UN-Hábitat, 2004).

Bhattarai y Conway (2010) realizan una revisión metodológica respecto a los peligros en las ciudades de rápida urbanización del Tercer Mundo como parte de las interacciones humanas advirtiendo que tienen similares condiciones socioeconómicas y contextos ambientales. Por su parte, Milanés y Pacheco (2011) analizan los riesgos de las ciudades que están cerca de la línea de costa, ya que se consideran zonas más atractivas para habitar, lo cual es un gran desafío que enfrenta la humanidad en el siglo XXI. La contribución realizada permite evaluar la vulnerabilidad urbana ante amenazas naturales y antrópicas en los asentamientos costeros en el litoral de la bahía de Santiago de Cuba.

Cilento (2005) y Almejo (2011) proponen estrategias dirigidas a la atención de los eventos hidrometeorológicos más frecuentes en el mundo: ciclones tropicales, inundaciones, lluvias torrenciales y otros fenómenos asociados con el cambio climático, los cuales presentan un aumento; su correlación con la resiliencia corresponde con la identificación de la vulnerabilidad de aquellos espacios territoriales susceptibles a sufrir daños de este tipo.

Aunque existen otros estudios relacionados con el riesgo, los asociados con vulnerabilidad están contruidos con otros enfoques, como el cambio climático (Lampis, 2013). Esta investigación evalúa la vulnerabilidad de las ciudades a nivel de secciones electorales, lo cual proporciona información con mayor detalle para el conocimiento de los factores que inciden en la generación de daños de los eventos ciclónicos. La contribución de este trabajo coadyuvará al conocimiento de la vulnerabilidad interna de las ciudades expuestas a los efectos de los ciclones tropicales que cruzan a una distancia menor de 10 kilómetros.

Metodología

El presente documento se apoyó en diversas fuentes: revisión histórica, hemerográfica, bibliográfica y cartográfica del surgimiento y desarrollo urbano de la ciudad, así como de datos estadísticos sobre las características de los asentamientos humanos a escala de secciones electorales. Esta información será de suma importancia para determinar el grado de vulnerabilidad en las dimensiones ambiental, social, económica y urbana e infraestructura que se desarrolló durante el proceso de urbanización, lo cual permite construir indicadores.

Para calcular el Índice de Vulnerabilidad Urbana por ciclones tropicales, se parte de un procedimiento similar a los estudios de vulnerabilidad a cambio climático; es decir, para generar indicadores de vulnerabilidad, es importante seleccionar una cantidad relativamente menor; se debe reflejar la historia, el desarrollo y las proyecciones del fenómeno a analizar. Entre mayor sea el número de indicadores, mayor será la incertidumbre, y se puede priorizar al momento de ponderar las variables; el índice de vulnerabilidad contempla los factores físicos, social y económico (Magaña, 2013: 27).

Para el caso de la vulnerabilidad, se agrega el factor urbano e infraestructura, el cual no se contempla entre las dimensiones consideradas en la valoración de la vulnerabilidad global; sin embargo, es de vital importancia por la transcendencia espacial en donde se aplique el estudio. La parte estructural que da soporte técnico a las ciudades y a su incorporación determina la capacidad de las distintas secciones para afrontar los procesos derivados de la presencia de un fenómeno ciclónico, como sucede con la lluvia intensa que puede generar inundaciones. Para medir la vulnerabilidad urbana por ciclones tropicales, se propone la construcción de indicadores en cuatro dimensiones:

A. Dimensión ambiental. Se determina por las condiciones climáticas actuales, consecuencia de los procesos climáticos pasados, a pesar de que éstos han presentado una evolución determinada por las actividades humanas a nivel regional. El cambio climático conlleva a amenazas o peligros con mayor intensidad por los variantes en la estabilidad ecológica local; cualquier perturbación influye en el resto de las comunidades induciendo a etapas de estrés, las cuales se pueden presentar a corto o a mediano plazos (Gay, 2000).

La vulnerabilidad de los sistemas ambientales está explícita por el tipo de impacto de fenómenos hidrometeorológicos, como los ciclones tropicales. Aunque no todos son iguales, tienen características similares. Esta condición determina el nivel de riesgo y la vulnerabilidad en las ciudades ubicadas en rutas de trayectorias. Existen casos donde sus vientos se presentan con mayor intensidad; otros poseen mayor cantidad de humedad y su temporalidad en tierra es corta, o bien se desvían de un momento a otro en función de las condiciones de temperatura en las corrientes de agua oceánica o simplemente son frenados por fenómenos regionales, como frentes fríos, pues alteran su trayectoria causando mayor cantidad de daños en las actividades humanas locales.

La evaluación de la dimensión ambiental ante ciclones tropicales se enfoca en el conocimiento de las condiciones físicas de las ciudades con una visión de prevención y adaptación a eventos que pueden ser alterados por las condiciones ambientales locales, modificando así el nivel de intensidad de futuros eventos. A continuación, se describen cinco indicadores:

- *Ciclones tropicales*. Número de eventos ciclónicos que presentaron una trayectoria de 1 a 10 km de distancia entre **Número de eventos ciclónicos con una trayectoria entre 1 y 200 km**. Este indicador describe la probabilidad de que un ciclón tropical muestre una trayectoria a una distancia menor de 10 km del centro de la ciudad. Para ello, Ihl y Frausto (2014) detallan en su estudio sobre los ciclones tropicales la importancia de incluir el análisis de los eventos que han impactado la ciudad, así como los meses con mayor frecuencia.¹ La distancia de los fenómenos por su estructura física se presenta en tres momentos específicos: a) El Antes: es la llegada de las primeras bandas de nubosidad y viento; b) Durante: es el lapso de calma en la cual atraviesa el ojo del ciclón; y c) Posterior: cuando las bandas de nubosidad cruzan en su totalidad y se alejan. La información para el cálculo de este indicador se basa en un análisis de trayectorias de los ciclones presentes a menos de 10 kilómetros de la ciudad, apoyados con sistemas de información geográfica (SIG) para su identificación, lo cual permite obtener el porcentaje de probabilidad de futuras trayectorias.
- *Precipitación extrema diaria*. Precipitación extrema diaria promedio entre Precipitación promedio mensual. Un efecto de los ciclones es la cantidad de lluvia precipitada en corto de tiempo en un lugar, lo cual propicia saturación y dificultad de absorción; por lo tanto, depende de la capacidad física del suelo para evitar inundaciones. Se estudió que todos los eventos ciclónicos presentan diferencias en los volúmenes de lluvia precipitada, los cuales se pueden comprender por las fechas en que se obtuvieron los datos, lo cual ha permitido calcular los momentos de mayor cantidad de precipitación para cada ciudad. El promedio obtenido de la búsqueda de la información histórica de los fenómenos ciclónicos tiene una trayectoria a menos de 10 kilómetros del centro de la ciudad.

¹ Para definir al fenómeno hidrometeorológico de ciclón tropical se parte de la noción: ¿ciclón tropical o huracán? Existen diferentes fuentes para conceptualizar a los ciclones tropicales; en esta investigación se considera a Rosengaus y otros (2001), quienes señalan que parte de acuerdo con la presión atmosférica existente en su centro o la velocidad de los vientos.

- *Precipitación total acumulada.* Precipitación total acumulada promedio entre Precipitación total mensual. El volumen de lluvia de los ciclones varía por diversos factores: dónde se generaron, su desarrollo, la temporalidad de su trayectoria, las condiciones físicas en su impacto y las dimensiones del fenómeno. Si se ha tardado mayor tiempo en su formación y desarrollo en el mar, la probabilidad de aumentar su nivel de humedad es mayor; esta condición prevé que la precipitación sea elevada en menor tiempo, comparado con el total de lluvia registrada anualmente en las ciudades durante su régimen normal. Por ello, este indicador muestra su capacidad de afectación que puede originarse por el volumen excesivo de lluvia, la cual se puede extender por lapsos cortos de días o incluso de una semana. La fuente de los datos depende de las estaciones climatológicas o automáticas que registran el volumen de lluvia identificada en el lugar de su ubicación a través del Servicio Meteorológico Nacional y de la Comisión Nacional del Agua.
- *Viento.* Velocidad del viento promedio mensual entre Velocidad del viento promedio anual. Este factor es determinante en la estructura de los ciclones tropicales; los cambios bruscos de temperatura, combinados con humedad ambiental, inciden en la propensión de turbulencias que se vuelven peligrosas al interactuar con áreas de inestabilidad atmosférica y forman una depresión tropical. Cuando se acerca un fenómeno ciclónico a la costa o centro urbano, lo primero que se percibe es el viento, el cual, dependiendo de su categoría, alcanza mayor o menor velocidad que afecta las estructuras de las viviendas; posteriormente, se advierte la presencia de olas de mayor altitud que se vuelven marejadas y se impactan en la línea de costa propiciando inundaciones en las zonas bajas. Su factibilidad en la generación de daños depende del incremento en su velocidad con la que se mueve. El promedio mensual es construido mediante el promedio de los meses en que comprende la temporada de huracanes en esta región que pertenece al Océano Atlántico, entre junio y diciembre en el hemisferio norte (Rosengaus y otros, 2002).
- *Grado de urbanización.* Superficie urbanizada entre Superficie total en tiempo indefinido. Este indicador define la superficie con potencial de afectación en un entorno urbano. La distribución espacial que realiza la población difiere en las distintas regiones donde la

utilización del espacio urbano es determinada desde el enfoque natural, social o cultural. Herrera y otros (2004) documentaron el uso y abuso del espacio de la costa, el cual presenta distintos procesos de urbanización en la conformación de los centros urbanos costeros. Estos suelen tener distintos usos habitacionales: cotidianos o para descanso. Este indicador contribuye al análisis sobre la utilización de la superficie urbana, el potencial de daño y su posible nivel de recuperación después del cruce de fenómenos ciclónicos.

- B. Dimensión social.** La parte vulnerable de los más afectados está determinada por las condiciones de vida, la estructura demográfica y por la ubicación geográfica. La población en riesgo demuestra una causalidad específica: carece de medios técnicos, presenta capacidades individuales y adopta estilos de vida en función de sus creencias culturales.

Los indicadores en esta dimensión reflejan la condición de vulnerabilidad de la población. Su aplicación ante la presencia de un ciclón tropical deberá ser distinta por la experiencia previa; la manera de actuar de los habitantes reflejará el nivel de avance alcanzado por los diferentes grupos sociodemográficos en las ciudades. La presente dimensión está integrada por los siguientes indicadores:

- *Densidad urbana.* Población total entre Superficie total en kilómetros cuadrados. Es un indicador que mide la conglomeración de la población en un área determinada; en este caso, sección electoral. Su importancia contribuye al conocimiento sobre las áreas de mayor número de habitantes y su distribución geoespacial hacia el interior de la ciudad, además de tener actualizado el padrón de habitantes vulnerables en caso de emergencia o que se requiera su evacuación de las secciones hacia refugios temporales.
- *Población vulnerable infantil.* Población de 0 a 14 años entre Población total por 100. La variable nos ayuda a identificar la población infantil, su distribución hacia el interior de la ciudad. Este grupo demográfico es considerado de alta vulnerabilidad por su falta de capacidad en la toma de decisiones, las cuales son consideradas por otras personas responsables de ellos y en función de las necesidades familiares. Algunos estudios de vulnerabilidad social, como los realizados por Adger (1999), Füssel (2006) y Brooks (2003), exponen que la población

en edad escolar básica se debe sobreproteger, porque su condición socioeconómica familiar definirá su nivel de vulnerabilidad ante la presencia de un fenómeno, como los ciclones.

- *Población vulnerable adultos mayores.* Población de 65 años y más entre Población total por 100. Esta variable determina la proporción de población vulnerable por condiciones físicas generadas por la edad, pero no por capacidades mentales. La localización de este grupo poblacional requiere de cuidados especiales y protocolos específicos en caso de ser evacuados. Su vulnerabilidad es considerada como alta en los estudios sociales enfocados en la disminución de daños de desastre. Es un sector demográfico que presenta enfermedades, las cuales derivan en complicaciones de salud por factores ambientales, consecuencia de las alteraciones ocasionadas por la presencia de una amenaza.
- *Población vulnerable femenina.* Población femenina entre Población total por 100. Este indicador relaciona al porcentaje de población femenina de todas las estructuras demográficas de una ciudad. Su importancia está definida por su capacidad, ya que se excluye de actividades físicas que requieran mayores esfuerzos ante las tareas postdesastre. Su función está determinada por sus capacidades de salvaguardar la integridad de las personas en su entorno; es parte de la población que requiere mayor cuidado por ser de las **más sensibles** a sufrir algún tipo de daño, como los niños o ancianos.
- *Hogares con jefatura femenina.* Número de hogares con jefatura femenina entre Total de hogares por 100. Los hogares con estas características de género demandan una mayor cantidad de recursos ante la presencia de un fenómeno perturbador. El porcentaje de hogares con jefatura femenina es considerado vulnerable porque sus ingresos y su capacidad de reacción son menores, así como su situación sociocultural en muchas regiones enfrenta marginación frente a las decisiones locales. Es importante tener identificada esta condición para los casos de amenaza; se les busca un lugar seguro dependiendo de su cantidad de miembros y de su edad.
- *Población analfabeta.* Población analfabeta de 15 años y más entre Población total por 100. Este indicador nos muestra la cantidad de población que carece de la capacidad básica de leer y escribir. Se

hace referencia a la incapacidad de la población para atender las indicaciones de las autoridades locales de forma escrita y oral, que son parte del entendimiento entre las personas para la comprensión del universo. Desde la visión de la vulnerabilidad social, pertenece a los indicadores de pobreza, bienestar personal y familiar; además, afecta la calidad de vida de los individuos a escala local. Se relaciona con una causalidad multidimensional, pero presentan mayor conocimiento sobre la dinámica interna del entorno natural, sobre todo en personas adultas, por lo que su capacidad de atender una amenaza difiere de los protocolos que se pueden implementar. La fuente de datos está determinada por distintos orígenes: censal, sistema educativo o programas enfocados a disminuir esta falta de capacidad entre la población que todavía no se incorpora a la actividad económica formal.

- *Población indígena.* Población indígena entre Población total por 100. El conocimiento individual entre los diferentes grupos étnicos determina la visión de los fenómenos a escala local. La capacidad de resistencia aumenta ante la presencia de un ciclón de acuerdo con sus creencias, experiencias familiares o personales. Las referencias culturales o ancestrales han sido transmitidas por la familia a través de generaciones, lo cual ha permitido la sobrevivencia a pesar de no hablar una lengua distinta a la materna predominante. En ocasiones, se considera que hablar o entender una lengua indígena determina que no se pueda enfrentar el riesgo con responsabilidad por la dificultad que representa la falta de información técnica en otra lengua que no sea español. Para Audefroy (2007) y Angelotti (2014), estas condiciones sociales pertenecen a otros factores, como los **étnicos, las creencias locales o usos** y costumbres, pues determinan las medidas a seguir ante el suceso de un ciclón, por lo que las poblaciones indígenas asumen el riesgo desde su forma de entender la naturaleza de las circunstancias.
- *Viviendas particulares habitadas con radio.* Viviendas con disponibilidad de radio de comunicación entre Total de viviendas habitadas por 100. Los medios de comunicación masiva han sido determinantes para disminuir el riesgo y la vulnerabilidad. La información sobre el desarrollo tecnológico ha incidido en la población para utilizar este medio y recibir notificaciones de las autoridades ante la amenaza de un ciclón tropical; asimismo, transmitirla entre las localidades

conlleva a asumir acciones para sobrevivir. El conocimiento de que las viviendas cuentan con este medio, a pesar de que en la actualidad existen otras fuentes de comunicación, sigue siendo la forma más factible para prevenir el potencial de daños generados por estos fenómenos entre la población urbana y rural.

- *Número de planes, programas e instrumentos técnicos para la prevención de riesgos y vulnerabilidad en la ciudad.* Para que los asentamientos humanos se encuentren seguros, se deben desplegar instrumentos que permitan la atención de la amenaza. Los ciclones tropicales se desarrollan en tres momentos importantes: antes (alertamiento), durante (el momento del impacto) y el después (alejamiento).
- *Reuniones de Comité Municipal de prevención-atención de fenómenos hidrometeorológicos.* Número de reuniones por periodo ciclónico entre número de eventos ciclónicos registrados. Ante el alertamiento de ciclón tropical en la región, se activa el Consejo Municipal de Protección Civil, el cual está integrado por las autoridades locales (presidente municipal, protección civil municipal, obras públicas, infraestructura urbana, responsable de plan marina o plan DN III, salud, sociedad civil, etc.). Estas reuniones se establecen en la temporada de ciclones tropicales; en el Océano Pacífico del 15 de mayo al 30 de noviembre; y en el Océano Atlántico del 01 de junio al 30 de noviembre; además, se lleva a cabo una reunión previa para dar a conocer el pronóstico de la cantidad de ciclones presentados en cada océano.
- *Refugios temporales.* **Número de refugios temporales entre la población vulnerable por 100.** Este indicador permite identificar la población vulnerable que requiera refugio para atender la emergencia; aunque existen distintos métodos de resguardo para que no sea afectada, dependerá de las condiciones físicas de las viviendas para resistir los efectos de los ciclones tropicales.

- C. **Dimensión económica.** Uno de los sectores **más afectados** con un ciclón tropical es el económico, ya que se detiene por el riesgo y la vulnerabilidad al mantener las actividades ante sus efectos. Además, la disminución de empleo a escala local establece la vulnerabilidad de la población afectada a nivel individual o familiar, lo cual crea círculos de pobreza que se ven reflejados al perder su capacidad de resistencia.

Medir el factor económico local requiere más información que permite instaurar los recursos monetarios de los grupos sociales establecidos en una ciudad. La disponibilidad de datos de ingresos de la población a escala de secciones electorales es casi nula o no existe, lo que dificulta la elaboración de modelos sobre las proyecciones de impacto y potencial de daños en futuros eventos. Para medir esta dimensión, se proponen tres indicadores:

- *Población Económicamente Activa*. Población Económicamente Activa (PEA) entre Población de 15 a 64 años por 100. Este indicador demuestra el dinamismo sociodemográfico de la población en edad laborable, lo cual determina la capacidad económica que presenta una ciudad a nivel regional. En un evento ciclónico, el sector **más** afectado siempre es el económico, ya que revive las condiciones de restablecimiento de las actividades en el lugar dañado. La importancia de incluir este dato estadístico se ve implícita en los informes técnicos presentados después de un ciclón, más cuando existe un nivel de daños económicos, el cual determina que la recuperación sea en mayor tiempo.
- *PEA según ingresos*. Población Ocupada que gana hasta dos salarios **mínimos entre** Total de Población Ocupada por 100. La población económica que participa en los diferentes sectores obtiene un ingreso o remuneración por el trabajo realizado para satisfacer sus necesidades. A pesar de las desigualdades económicas locales, los grupos sociales asimilan el riesgo y la vulnerabilidad de distintas maneras en función de los ingresos familiares. La razón principal de este indicador es conocer la localización de los distintos grupos socioeconómicos hacia el interior de los centros urbanos y contrastarla con el resto de la información estadística para el análisis de la vulnerabilidad por ciclones tropicales.
- *Población en pobreza de patrimonio*. Población con pobreza de patrimonio entre Población total por 100. Este indicador demuestra el nivel de pobreza de la población con menores posibilidades económicas en la formación de un patrimonio personal o familiar. El tiempo de recuperación por parte de la población ante la presencia del evento ciclónico es mayor en medida de los daños causados a sus bienes que se ven gravemente afectados. A nivel local, se comenta entre la población con menores ingresos que un ciclón empobrece a los más vulnerables; por lo tanto, una familia se puede tardar hasta una generación en recuperar su estabilidad económica a pesar de recibir ayuda gubernamental.

D. Dimensión urbana e infraestructura. Para evaluar los niveles de riesgo y vulnerabilidad ante fenómenos ciclónicos, es importante considerar la estructura urbana e infraestructura de las ciudades, como vías de comunicación, sistema de agua potable, drenaje y servicio eléctrico (SEGOB y CENAPRED, 2006: 11).

Los indicadores sobre la estructura urbana e infraestructura son una manera de estudiar el grado de afectación que las ciudades podrían sufrir en el futuro ante la amenaza de un evento ciclónico. Para ello, se han seleccionado elementos expuestos a ser afectados y que cuentan con información que ayude a comprobar su vulnerabilidad. Aunque en varios casos la disponibilidad de información está restringida por cuestiones de seguridad, su consideración para adoptar medidas que contribuyan a disminuir las afectaciones garantiza un rápido restablecimiento de su uso para bien de los afectados, como ha sucedido (SEDESOL, 2012).

De acuerdo con Simioni (2003), la vulnerabilidad de las ciudades ante una amenaza o peligro está influida por su tamaño, sus características en la traza urbana y su funcionalidad en su entorno. El grado de afectación en la infraestructura dependerá de su diseño, características tipológicas y antigüedad en su construcción, por lo que su preservación permitirá adaptar estrategias que solucionen los eventos extraordinarios presentados en el futuro. Se compone de distintos indicadores que interfieren con el desarrollo de la organización espacial de la ciudad:

- *Uso de suelo.* Superficie modificada para fines de urbanización entre la Superficie total por 100 según periodo de información. La transformación de la cobertura natural permite identificar la orientación de la expansión urbana desarrollada sin tomar en cuenta la vocación física del suelo; sirve de referencia técnica y soporte para el conocimiento de las estructuras de construcción inmobiliaria y de infraestructura que requiere la ciudad para su operatividad. En la historia de la ciudad, el cambio de uso de suelo urbano es ampliado por periodos o etapas, por lo cual no siempre existe información disponible.
- *Calles con pavimentación.* Superficie pavimentada entre Superficie total por 100. El nivel de urbanización hacia el interior de los centros urbanos en ocasiones difiere de las condiciones regionales de las ciudades. La manera de la población de ocupar el territorio determina el grado de materialización en la superficie vial y ésta varía de un lugar a otro; factores como el dinamismo socioeconómico, el incremento de espacios a la urbanización y la demanda por suelo para viviendas influyen en la pavimentación de las calles.

- *Fosas de absorción (Alcantarillado pluvial)*. **Número de fosas de absorción entre** Superficie total por kilómetro cuadrado. Uno de los problemas más serios en las ciudades ubicadas en zonas de baja altitud es la falta de drenaje pluvial. Por ejemplo, la península de Yucatán presenta una deficiencia en la capacidad de absorción de la precipitación extrema. En ciudades costeras, la inundación por marejadas que arrastran grandes cantidades de arena y sedimentos marinos saturan los pozos de absorción, por lo que el mantenimiento merma la capacidad de filtración hacia el subsuelo. La importancia de construir fosas de absorción determina el nivel de inundación de las ciudades, pero dependerá del nivel al que se encuentre el agua por debajo de la superficie urbanizada, el cual es superficial.
- *Viviendas particulares habitadas con materiales en pisos*. Viviendas particulares con materiales en pisos de tierra entre Total de viviendas particulares habitadas por 100. Se considera que la población que habita en un centro urbano dispone de los medios suficientes para disminuir el riesgo en su entorno personal. La situación actual indica que los materiales con los que se construyen las viviendas disminuyen los daños generados a la salud de sus habitantes; la carencia de pisos de materiales firmes desarrolla enfermedades. Los efectos de los ciclones tropicales generan inundaciones por la cantidad de agua precipitada o inundaciones por marejadas en centros urbanos costeros. Este indicador demuestra la localización de estas viviendas que serán consideradas en riesgo, por ello, son de atención prioritaria en caso de amenaza de ciclón.
- *Viviendas particulares habitadas con agua potable*. Viviendas con agua potable entre Total de viviendas habitadas por 100. Uno de los servicios de infraestructura más afectado durante la presencia de un evento ciclónico es la disponibilidad de agua potable en las viviendas. Es un bien público esencial para desarrollar las actividades humanas, así como para el consumo de la población, sin embargo, no siempre está disponible en los sectores más vulnerables de las ciudades. UNEP (2013) integró a los derechos humanos de la población la disponibilidad de agua en las viviendas, por lo que los esfuerzos por acceder a este bien dependerán de las condiciones de disponibilidad natural, su conservación y los factores climáticos que hacen posible el aumento o disminución de la reserva para el abasto de la población urbana.
- *Viviendas particulares habitadas con servicios de drenaje*. Viviendas con servicio de drenaje entre Total de viviendas habitadas por 100. La disponibilidad

de servicios de drenaje en las viviendas es parte de la infraestructura local. La importancia de mantener una buena salud entre los habitantes depende de la disponibilidad del servicio para evitar enfermedades bacterianas o pandemias. La saturación, consecuencia de la filtración de agua de lluvia en el sistema, altera el equilibrio natural del ecosistema, y en ocasiones atrae organismos biológicos nocivos al entorno urbano, por lo que la disponibilidad es esencial para los habitantes de las viviendas en el ámbito urbano.

- *Viviendas particulares habitadas con servicio de energía eléctrica.* Viviendas con energía eléctrica entre Total de viviendas habitadas por 100. Hace una década, sólo las viviendas de localidades consolidadas contaban con energía eléctrica como fuente principal. La importancia de este indicador radica en definir las áreas que no cuentan con dicho servicio, lo cual representa, en parte, una carencia e implica que, al presentarse un evento ciclónico, la población estará vulnerable por no contar con recursos para subsistir hasta que la vida regrese a la normalidad, como sucede en las periferias de los centros urbanos.
- *Equipamiento urbano.* Número de construcciones públicas y privadas expuestas a ser dañadas entre el Total de construcciones que brindan algún tipo de servicio. El tipo de equipamiento que presenta la ciudad es muy variable, depende del estatus que guarda en el sistema regional de ciudades; es uno de los criterios que determinan el grado de equipamiento que puede ser aplicado dentro de la planeación urbana local.

Aunque existen otros elementos de la estructura interurbana que pueden ser medidos, como orientación, amplitud y accesibilidad de las calles para la movilidad de los habitantes ante la presencia de los fenómenos ciclónicos, se dejan a la consideración de cada estudio. Respecto a los espacios verdes, se pueden tomar en cuenta, aunque son susceptibles de sufrir daños por la intensidad de los vientos, lluvia e inundaciones, además dependerán de las condiciones de absorción del suelo.

Concluido el proceso de construcción de los indicadores por dimensiones, se advierte que éstos se encuentran en distintas unidades, por lo cual se aplica el método de estandarización para las unidades y variables. Este proceso es utilizado para ajustar, adaptar y homologar formas, estilos o mediciones que se presenten en diferentes unidades. Es una técnica multidisciplinar para unificar criterios de fuentes distintas que permiten delinear el impacto de los factores, aunque las variables no se encuentren en las mismas unidades métricas. Para aplicar este proceso se aplica la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{\pi - \mu}{\sigma}$$

Donde:

Z = Dato estandarizado o normalizado

π = Valor nominal del dato a estandarizar

μ = Media aritmética

σ = Desviación estándar

El objetivo del método de ponderación es expresar, en términos cuantitativos, la importancia de los distintos elementos; si bien es frecuente al asignar pesos a criterios, su especificación es una cuestión en la que no existe un método generalmente aceptado para su determinación; este proceso crea controversia por la asignación sin un criterio definido en dichos pesos.

La escala de Saaty es una herramienta propuesta para establecer la importancia o preferencia de criterios o alternativas en la matriz de comparaciones a pares. Es una escala de prioridades como forma de independizarse de las diferentes escalas que existen; de esta forma, se entrega homogeneidad y cierto grado de certeza a las comparaciones (Saaty, 1988). El Proceso Analítico Jerárquico de este método descompone las estructuras complejas en componentes unilaterales; es decir, estas variables se ordenan en una estructura jerárquica y se obtienen valores numéricos para generar juicios de preferencia; además, sintetiza o determina las variables que tienen más alta prioridad (Cadena y Campos, 2012; Ávila, 2016).

El cálculo del IVUCT por dimensiones se obtiene mediante el ajuste de la ponderación entre las cuatro dimensiones: ambiental, social, económica y urbana e infraestructura. Debido a la importancia de las cuatro, no es necesario asignarles una ponderación distinta para demostrar la dinámica del fenómeno, por lo que se establece el mismo valor a todas las dimensiones (Magaña, 2013a). Este factor es de 0.25, no obstante, puede ser distinto, según la formulación de las unidades del índice que se quiera construir, ya que se pueden asignar valores diferentes de ponderación dándole la importancia que

se considere en la hipótesis a comprobar. Sin embargo, para el caso específico de los ciclones tropicales, los cuatro sistemas son relevantes, por lo que su importancia adquirida en el proceso de la construcción del riesgo es sistémica en la exposición y sensibilidad en cada sección electoral.

Índice de Vulnerabilidad Urbana por Ciclones Tropicales en dimensiones (IVUCT) = $0.25 * (\text{Dimensión ambiental}) + 0.25 * (\text{Dimensión social}) + 0.25 * (\text{Dimensión económica}) + 0.25 * (\text{Dimensión urbana e infraestructura})$.

Resultados y discusión

La medición de la vulnerabilidad urbana da como resultado el grado de probabilidad de afectación de los sistemas urbanos locales. Algunos de éstos presentan cambios internos que generan sensibilidad dependiendo la categorización en la que se manifiesten los ciclones tropicales, cuyos efectos generan, en ocasiones, el colapso de la infraestructura interna en las secciones electorales.

Las concentraciones de habitantes por secciones electorales son homogéneas por volumen, sin embargo, sus características demográficas originan sectores de mayor vulnerabilidad en sus estructuras; la probabilidad de ser afectados aumenta en la medida de que sus condiciones de patrimonio presenten menor exposición a ser afectados ante la capacidad de la infraestructura para disminuir los efectos de los ciclones tropicales. Aunque no se ha construido un indicador para evaluar la suficiencia y eficiencia en la infraestructura, se puede considerar en la medida de que los daños ocasionados sean menores o no se presenten.

En las ciudades costeras con mayor proyección de crecimiento poblacional en las últimas décadas falta planeación urbana, pues se encuentra ubicadas en zonas de tránsito ciclónico y su grado de susceptibilidad para enfrentar una crisis en su sistema de infraestructura urbano es alto en la medida de que su volumen de población es más disperso.

La dimensión ambiental propicia el desarrollo de los fenómenos ciclónicos; sin embargo, la sensibilidad de los elementos climáticos, como la temperatura y la humedad, influyen de una manera uniforme en la distribución de la vulnerabilidad al interior de las ciudades. El deterioro en las condiciones socio ambientales locales como la instauración de los asentamientos humanos, puertos de cabotaje, servicios eco sistémicos, como el turismo de playa y sol en áreas costeras, aceleran la propensión de daños de desastre por fenómenos ciclónicos.

Los vientos y la lluvia generados por los ciclones tropicales durante sus distintas etapas provocan daños dependiendo de su dimensión espacial. Al disminuir el ojo del ciclón, la distancia con respecto a cada uno de los asentamientos humanos ubicados dentro de su trayectoria determina las áreas afectadas, por lo que el tiempo estimado de impacto permite a la población tomar acciones para proteger sus bienes personales y su integridad en refugios seguros.

Los daños más intensos son causados por los ciclones que presentan una distancia máxima entre 1 y 10 kilómetros del centro de la ciudad. Los datos hemerográficos recolectados durante el trabajo de campo en ciudades expuestas permiten conocer la opinión de las personas que han enfrentado este evento natural, quienes manifiestan que cada fenómeno tiene un nivel de afectación distinto; en ocasiones, la información de las autoridades locales permite que estos eventos no influyan en las actividades cotidianas de la población por tiempos prolongados; asimismo, la atención de los servicios públicos y el estado físico de la infraestructura urbana determinan la vulnerabilidad de los distintos sectores sociales a sobrevivir.

Los resultados esperados en la aplicación metodológica de este trabajo forman parte de investigaciones concluidas, de las cuales se hace referencia posteriormente; y se han elaborado para evaluar la vulnerabilidad global sin suponer los impactos de las amenazas hacia el interior de las ciudades.

En la actualidad, existe una crisis en la solución multidisciplinar de los problemas asociados al deterioro ambiental. Las respuestas sólo han servido para exponer la falta de sensibilidad de las autoridades para la aplicación de mecanismos que no son prácticos en la realidad. Los fenómenos desastrosos son más intensos, la desigualdad social y la falta de oportunidades de algunos incrementan la resistencia al disminuir los daños en el patrimonio de la población expuesta (Hinkel, 2011).

Grupos de la sociedad internacional, como el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) (1997, 2007 y 2012), consideran alarmante el deterioro de los ecosistemas costeros o que siga en constante amenaza. Las ciudades ubicadas dentro de la costa son más sensibles y expuestas a sufrir daños provocados por los ciclones tropicales, así como el aumento del nivel del mar, lluvias invernales y cambios en las temperaturas regionales.

A través de estudios a nivel local en ciudades se considera el aumento de las capacidades de resiliencia de la población mediante el conocimiento de los fenómenos. Es una manera de asumir el riesgo y la vulnerabilidad

que actualmente enfrentan las investigaciones realizadas desde las distintas disciplinas; es decir, la necesidad de plantear cómo hacer que el trabajo multidisciplinar sea más eficiente y operativo entre los distintos actores de la sociedad civil. La Organización de las Naciones Unidas (2004) propone disminuir las desigualdades socioeconómicas de los habitantes hacia el interior de las localidades urbanas como una estrategia para reducir las probabilidades de enfrentar escenarios de riesgo y vulnerabilidad ante las condiciones de deterioro del entorno urbano.

La diversidad de eventos ciclónicos a los que se ha sometido la población en el territorio mexicano representa la posibilidad de que se agudicen los daños por desastre en los próximos años debido a las alteraciones en el cambio climático global y al deterioro ambiental existente. Este problema ha cambiado la exigencia en las políticas de ordenamiento territorial, desarrollo urbano-regional y aquellas que presenten un carácter ambiental, económico y social dentro de una región (SEDESOL, 2012).

Los centros urbanos ocupan un papel central en la nueva geografía de la urbanización, pues aquí los procesos de globalización presentan una transición hacia esquemas de ocupación del territorio; son conglomerados de las actividades económicas, vitales para la producción y el consumo; y presentan una constante amenaza de sufrir fenómenos extremos por los efectos del cambio climático (Sánchez, 2013a).

La disponibilidad de la estructura urbana e infraestructura manifiesta un desgaste provocado por la temporalidad de su construcción, pues, al tener diversos procesos de expansión urbana, ha tenido que ampliarse. La disponibilidad de agua potable no es posible en la zona urbana; las condiciones de suelo y los niveles de contaminación, producto de las descargas de aguas residuales al subsuelo, han inducido a la contaminación del manto freático en algunas zonas de las ciudades (Bautista y otros, 2009; Torres y otros, 2014).

Para que las ciudades sean más resistentes a los cambios inducidos por la falta de sustentabilidad ambiental, es necesario retomar los aspectos de fundación de los asentamientos urbanos, así como su desarrollado en el tiempo y su proceso de urbanización. Se considera que, por las dimensiones ambientales o sociales mayormente afectadas ante el riesgo de fenómenos perturbadores, se debe determinar la intensidad de los eventos desastrosos en las ciudades por la falta de protección de los ecosistemas a escala local (Simioni, 2003a).

El nivel de infraestructura hidráulica y técnica de las ciudades establece mejores oportunidades de seguridad de los habitantes para disminuir los daños generados por los efectos de los ciclones tropicales en zonas costeras. A mayor infraestructura, mayor fragilidad si no se mantiene actualizada para resistir los eventos ciclónicos futuros; la tendencia indica que se intensificarán; por ello, la prevención es una herramienta que requiere de la intervención de los actores expuestos en zonas de mayor vulnerabilidad.

Se espera que con el cambio climático la intensidad de los ciclones tropicales en la región aumente y cause un mayor riesgo, por lo que es necesario tener un conocimiento amplio y documentado de la infraestructura urbana en la ciudad y del municipio a fin de emprender acciones preventivas que disminuyan la sensibilidad y exposición de los habitantes y que propicien su adaptación a los cambios del clima.

Conclusiones

Las dimensiones urbana, infraestructural y ambiental que integran el sistema interno de la ciudad presentan una función equitativa, sin embargo, al estar amenazadas por un fenómeno externo hay probabilidades de desequilibrio, lo cual determina la desigualdad entre los grados de vulnerabilidad en las distintas secciones electorales.

En la construcción de indicadores no existe un número establecido que demuestre la fragilidad del sistema ante las amenazas; la cantidad depende de varios factores, pero el principal es la disponibilidad de información. Una limitante es la escasez de ésta, sin embargo, puede complementarse con datos cualitativos recolectados en campo para mejorar las deficiencias en las dimensiones, como la ambiental y urbana e infraestructural, a fin de describir el grado de vulnerabilidad interna de las secciones electorales mediante la aplicación de entrevistas basadas en un sistema aleatorio que sea representativo del número de habitantes y su estructura poblacional.

En la dimensión ambiental, social y económica, la información no siempre está disponible a escala intraurbana (secciones electorales) o puede agruparse de otra manera (Ageb urbanos); aunque la metodología sobre la construcción territorial no sea clara en su definición, puede o no ser utilizada en el análisis de vulnerabilidad urbana a escala local.

La descripción sobre los procesos de construcción de la traza urbana es determinante al momento de evaluar el grado de vulnerabilidad de la dimensión ambiental. Asimismo, contribuye a que la ciudad sea afectada por las inundaciones de marejada y que sea inmensamente peligrosa cuando se asocia con el mar y las áreas de manglar. Las lluvias causadas entre la intensidad de los vientos con la humedad permiten que las precipitaciones sean torrenciales y estén influidas por la dimensión del fenómeno, por lo que dependerá de las condiciones en la infraestructura urbana para mantener bajo el nivel de vulnerabilidad.

Históricamente, los ciclones tropicales han perturbado la vida de las ciudades, principalmente las costeras. El clima extremo y cambiante, los terremotos y las emergencias generadas por las amenazas inducen a la población a ejercer presión para que se apliquen esquemas de disminución de daños de desastre a sus bienes y su economía como ciudades. Para los líderes de gobiernos locales, como alcaldes, gobernadores, concejales y otros, se establece un marco genérico para la reducción de riesgos y se identifican buenas prácticas y herramientas que ya están siendo utilizadas en varias ciudades con problemas de riesgo y vulnerabilidad en su territorio (Naciones Unidas, 2012).

Cuando la presión de la amenaza es mayor en alguna otra dimensión que no sea la que propicia el riesgo, la distribución de la vulnerabilidad al interior de las ciudades se presenta en los sectores más sensibles de la estructura poblacional; éstos se localizan en zonas que han presentado daños en eventos históricos, por lo cual hacia nuevos fenómenos las condiciones de vulnerabilidad disminuyen por haber aplicado mecanismos que permitan reducir los daños en su entorno, asociado a las condiciones económicas de la población y su situación social en la que se han establecido a escala local, carentes de medidas que prevengan los efectos de los ciclones tropicales en el territorio. Derivado de estos alcances, se puede aseverar que la infraestructura reciente, construida para prever contingencias, será de mayor capacidad de adaptación a los fenómenos ciclónicos futuros, los cuales serán más intensos por el cambio climático global y se prevé que las trayectorias serán más cambiantes y de menor duración; por lo tanto, sus características extremas influyen en el proceso interno de las ciudades, por lo que el territorio debe estar preparado para enfrentar los efectos y disminuir las afectaciones en la población urbana.

Para fortalecer la gestión local, es importante reforzar las capacidades de los actores sociales urbanos fomentando el conocimiento sobre los ciclones tropicales y la forma de atender una situación de alerta, a fin de disminuir la probabilidad de sufrir afectaciones mayores en el patrimonio familiar o individual, ya que los ciclones tropicales son causa de mayores carencias económicas y pobreza urbana.

Referencias

- Adger, Neil, 1999: "Social vulnerability to climate change and extremes in coastal Vietnam", en *World Development*, vol. 27, núm. 2, pp. 249-269.
- Aguilar, Guillermo, 2004: "Los asentamientos humanos y el cambio climático global", en Martínez Julia y Adrián Fernández Bremauntz (comps.), *Cambio climático: una visión desde México*, México D.F.: Instituto Nacional de Ecología (INE) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), pp. 267-278.
- Almejo, Rubén, 2011: "Vulnerabilidad sociodemográfica ante eventos hidrometeorológicos", en *La situación demográfica en México*, México, D.F.: Consejo Nacional de Población (CONAPO) y Secretaría de Gobernación (SEGOB), pp. 209-223.
- Angelotti, Gabriel, 2014: "Percepción, miedo y riesgo, ante los huracanes y otros fenómenos naturales en Yucatán", *Temas Antropológicos. Revista Científica de Investigaciones Regionales*, vol. 36, núm. 2, abril-septiembre, Universidad Autónoma de Yucatán, pp. 43-72.
- Ávila, Omar, 2016:** *La habitabilidad de las viviendas en la zona metropolitana de Toluca*. Tesis Doctoral en Urbanismo, Facultad de Planeación Urbana y Regional de la Universidad Autónoma del Estado de México.
- Audefroy, Joël, 2007: "Desastres y cultura: una aproximación teórica", *Revista Instituto de Vivienda (INVI)*, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, vol. 22, núm. 60, pp. 119-132.
- Bautista, Francisco y otros, 2009: *Libro de resúmenes del seminario análisis de la vulnerabilidad y riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en la península de Yucatán, Mérida, Yucatán, 10 y 11 de diciembre*, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bhattarai, Keshav y Dennis Conway, 2010: "Urban Vulnerabilities in the Kathmandu Valley, Nepal: Visualizations of Human/Hazard Interactions", *Journal of Geographic Information System*, núm. 2, pp. 63-84.
- Bottino, Rosario, 2009: "La ciudad y la urbanización", *Estudios históricos, CDHRP*, núm. 2, pp. 1-14.
- Brooks, Nick, 2003: "Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework", Tyndall Centre for Climate Change Research Working Paper, núm. 38, pp. 1-16.
- Cadena, Edel y Juan Campos, 2012: "Vulnerabilidad social y comportamiento social. Un análisis por secciones electorales", *Revista papeles de población, CIEAP/UAEM*, núm. 71, pp. 1-43.
- Chardon, Catherine y Juan Leonardo González, 2002: *Amenaza, vulnerabilidad, riesgo, desastre, mitigación, prevención. Primer acercamiento a conceptos, características y metodologías de análisis y evaluación*, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, Instituto de Estudios Ambientales (IDEA).
- Cilento, Alfredo, 2005: "Capacidad de resistencia, vulnerabilidad y cultura de riesgos", *Espacio Abierto*, vol. 14, núm. 2, abril-junio, pp. 265-278.
- Füssel, H. M., 2006: "Vulnerability: a generally applicable conceptual framework for climate change research", *Global Environmental Change*, vol. 17, núm. 2, pp. 155-167.
- Gay, Carlos (comp.), 2000: *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*, México: Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México y US Country Studies Program.
- Galindo, Miguel y otros, 2004: "El proceso de urbanización y el crecimiento económico en México", *Estudios demográficos y urbanos*, núm. 56, mayo-agosto, pp. 289-312.
- Herrera, Jorge y otros, 2004: "Los usos y abusos de la zona costera en la península de Yucatán", en Rivera A. E., Villalobos Zapata G. y otros (edits.), *El manejo costero en México*, Universidad Autónoma de Campeche-Semarnat-Cetys-UQRoo, pp. 387-396.

- Hinkel, Jochen, 2011: "Indicators of vulnerability and adaptive capacity: Towards a clarification of the science-policy interface", *Global Environmental Change*, núm. 2, pp. 198-208.
- Ihl, Thomas y Oscar Frausto, 2014: "El cambio climático y los huracanes en la península de Yucatán", en Frausto Oscar (ed.), *Monitoreo de riesgos y desastre asociados a fenómenos hidrometeorológicos extremos y cambio climático. Métodos, Bases de datos y discursos*, Universidad de Quintana Roo, Cozumel, México, pp. 42-49.
- INEGI Instituto Nacional de Geografía Estadística e IFE Instituto Federal Electoral, 2010: *Estadísticas censales a escalas geoelectorales 2010*, consultado el 15 de mayo de 2014 en <http://gaia.inegi.org.mx/geoelectoral/viewer.html#>
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change, 1997: *Informe especial del IPCC. Impactos regionales del cambio climático: Evaluación de la vulnerabilidad. Contribución de los Grupos de Trabajo II*, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- IPCC y Climate Change, 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers, Contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, en Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y H.L. Miller (eds.), *Panel Intergubernamental de Cambio Climático*, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York.
- IPCC, 2012: Informe especial sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático, Contribución de los Grupos de Trabajo I y II, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
- Lampis, Andrea, 2013: "Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: debates acerca del concepto de vulnerabilidad y su medición", Cuadernos de Geografía. Revista Colombiana de Geografía, vol. 22, núm. 2, julio-diciembre, Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, pp. 17-33.
- Magaña, Víctor (comp.), 2013a: *Guía metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad a cambio climático*, México, D.F. Instituto Nacional de Ecología y Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, pp. 17-27.
- Méndez, Ricardo, 2010. "La dimensión urbana del desarrollo territorial: significado actual de las ciudades de tamaño intermedio y las periferias metropolitanas", *Segundo bloque: Ciudad y territorio*. 137-154 pp.
- Milanés, Celene y Alicia Pacheco, 2011: "Asentamientos costeros en la bahía de Santiago de Cuba: estudio de su vulnerabilidad urbana", *Arquitectura y Urbanismo*, vol. XXXII, núm. pp. 18-27.
- ONU Organización de las Naciones Unidas, 2012: *Cómo desarrollar ciudades más resilientes. Un Manual para líderes de los gobiernos locales*, Ginebra.
- Ornés, Sandra, 2009: "El urbanismo, la planificación urbana y el ordenamiento territorial desde la perspectiva del derecho urbanístico venezolano", *Revista Politeia*, vol. 32, núm. 42, Instituto de Estudios Políticos, UCV, pp. 197-225.
- Rosengaus, M y otros, 2002: Atlas climatológico de ciclones tropicales en México. Secretaría de Gobernación (SEGOB) y Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), México D.F.
- Saaty, Thomas, 1988: *The analytical hierarchy process*, Mc Graw Hill.
- Sánchez, Roberto y Adriana Bonilla (editores), 2007: *Urbanización, Cambios Globales en el Ambiente y Desarrollo Sustentable en América Latina*, Instituto Interamericano para la Investigación sobre Cambio Global (IAI), Instituto Nacional de Ecología (INE) y United Nations Environment Programme (UNEP), São José dos Campos, Brasil.
- Sánchez, Roberto (editor), 2013a: *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*, Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI), Santiago.

- SEDESOL, Secretaría de Desarrollo Social, 2012: *Guía municipal de acciones frente al cambio climático. Con énfasis en desarrollo urbano y ordenamiento territorial*, México, D.F.
- SEGOB, Secretaría de Gobernación y CENAPRED Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2006: *Evaluación de la vulnerabilidad física y social*, México, D.F.
- Simioni, Daniela, 2003a: "Ciudad y desastres naturales. Planificación y vulnerabilidad urbana", en Balbo, M., Jordán, R., y Simioni, Daniela, (eds.), *La ciudad inclusiva*, núm. 88, United Nations Publications, pp. 279-304.
- Torres, Concepción y Otros, 2014: "Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo de contaminación del agua subterránea en Yucatán", *Revista Ecosistemas y recursos agropecuarios*, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, vol. 3, núm. 1, pp. 189-203.
- UN United Nations, 2004: *Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives*, United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.
- UN-Habitat United Nations Human Settlements Programme, 2004: *Reducing urban risk and vulnerability*. A thematic paper submitted for discussion at the UN-HABITAT/UN-ISDR. Working meeting on vulnerability assessment and reducing urban risk, Madrid, 7-9 septiembre.
- UNEP United Nations Environment Programme, 2013: *Research Priorities on Vulnerability, Impacts and Adaptation. Responding to the climate change challenge*. Nairobi, consultado el 14 de octubre de 2013 en <http://www.unep.org/pdf/DEW1631NA.pdf>
- Valdivia, Camilo, 2008: "Estudios de vulnerabilidad sobre el fondo habitacional", *Arquitectura y Urbanismo*, vol. XXIX, núm. 2-3, pp. 68-73.