10

Vulnerabilidad urbana por ciclones tropicales el caso de dos ciudades del estado de Yucatán

Marcelino García Benítez[1]*; Salvador Adame Martínez[2*]; Roberto A. Sánchez Rodríguez[3]

10.1. Resumen

Los asentamientos humanos ubicados en corredores con trayectorias de tránsito ciclónico presentan una alta probabilidad de ser vulnerables ante estos, en parte por las condiciones en el estado medioambiental que produce su acercamiento a los centros urbanos; lo que aumenta la propensión de daños generados por sus efectos en la economía e infraestructura local. Son eventos cada vez más intensos, pero menos constantes ante las secuelas que genera el cambio climático, su alertamiento ha influido en el conocimiento de sus impactos por las perturbaciones que causa a las actividades económicas entre las poblaciones de la península de Yucatán.

A pesar que los procesos de desarrollo urbano de las ciudades del estado de Yucatán presentan distintos factores de condiciones de habitabilidad, son los procesos socioambientales y demográficos internos los que influyen en la distribución espacial del grado de vulnerabilidad (exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación) que presentan las secciones electorales de las ciudades de Progreso de Castro y Motul de Carrillo Puerto. Son dos ciudades de importancia por su estructura poblacional en el

1 Dr. en Urbanismo. . E-mail: geomagabe@gmail.com.
2 Profesor-investigador. E-mail: sadamem@uaemex.mx.
3 Profesor-investigador. Departamento de Estudios Urbanos y Medio Ambiente. DEUMA-EL COLEF. Correo electrónico. robsan@colef.mx. Carretera Escénica Tijuana-Ensenada Sn, San Antonio del Mar, 22560 Tijuana, B.C.
* Facultad de Planeación Urbana y Regional. FAPUR-UAEM. Calle Mariano Matamoros s/n casi esquina Paseo Tollocan, Toluca. Estado de México. C.P. 50130.

sistema urbano estatal, localizadas en dos entornos naturales distintos, la primera es una ciudad costera y la segunda, una ciudad al interior, aproximadamente a 40 kilómetros de distancia de la franja costera, pero ambas dentro del corredor ciclónico de la península de Yucatán.

El presente trabajo de investigación abordó la vulnerabilidad intraurbana a nivel de secciones electorales de dos ciudades del estado de Yucatán, ubicadas dentro de la zona de tránsito ciclónico. Se describe y evalúa la vulnerabilidad propiciada por los procesos de urbanización que han generado el riesgo interno del asentamiento urbano. Para evaluar la vulnerabilidad se construyeron indicadores a través de subíndices de cambio climático (exposición, sensibilidad y la capacidad de adaptación, con lo cual se permiten obtener el índice de Vulnerabilidad Urbana por Ciclones Tropicales (IVUCT) a nivel de cada una de las secciones electorales.

Los resultados muestran que cada ciudad, aunque se encuentren dentro del corredor ciclónico, presentan secciones electorales con grados de vulnerabilidad uniformes, a pesar de que se localizan en un entorno medioambiental similar. Las dimensiones de la vulnerabilidad pueden generar áreas similares en exposición, pero el grado de sensibilidad está determinada por las dimensiones sociales y económicas, mientras que el grado de capacidad adaptativa disminuye en la caracterización de la infraestructura, ya que depende de las condiciones institucionales y civiles que intervienen en respuesta ante la vulnerabilidad local.

Aunque la interrelacion de los resultados obtenidos en el IVUCT con los escenarios de cambio climático definen las condiciones de temperatura, humedad y lluvia invernal en los próximos 15 años, por lo que se establece la propensión de los ciclones tropicales por las condiciones medio ambientales y su probabilidad de acercamiento a las ciudades ubicadas en la zona de tránsito ciclónico del estado de Yucatán.

Palabras claves: vulnerabilidad urbana, ciclones tropicales, secciones electorales, Progreso de Castro y Motul de Carrillo Puerto.

10.2. Introducción

Los procesos de urbanización de las ciudades mexicanas se asemejan a las Latinoamericanas, por su crecimiento acelerado de las ciudades más grandes del país. Durante décadas los nuevos espacios incorporados en las periferias de los centros urbanos eran ocupados por sus habitantes con los servicios de infraestructura mínima y en algunos casos sin ningún tipo (Álvarez, 2011, p. 118). Este desfase de cobertura de servicios e infraestructura genera que el proceso de urbanización presente algún tipo de riesgo y vulnerabilidad ante la presencia de distintos tipos de peligros o amenazas.

El proceso de urbanización carece de formas de administración debido a las presiones de la población y a los constantes cambios de uso de suelo, sobre todo en la periferia de las ciudades. Durante el proceso de urbanización, no se considera la capacidad de uso del suelo, lo que propicia conflictos de uso y por ende un desequilibrio ecológico local. La ciudad es el espacio construido donde los habitantes han modificado elementos ambientales como el suelo y vegetación para habitarlo, precede de un origen físico como el paisaje que ha permitido la construcción de la traza urbana y el desarrollo de una red de infraestructura.

El riesgo por fenómenos hidrometeorológicos y climáticos continúa siendo un serio problema para el sistema socioambiental de las ciudades, el cual debe ser atendido para disminuir la probabilidad de afectación a la población y a la infraestructura, entre otros.

Por otra parte, el estudio de la vulnerabilidad presenta un proceso teórico-conceptual cambiante desde distintos enfoques. Pese a ello se ha buscado que la vulnerabilidad sea más operativa con la finalidad de disminuir los daños causados por el incremento de ciclones tropicales, su frecuencia e intensidad, lo que expone al riesgo a los asentamientos humanos.

Otro aspecto a considerar es que la variabilidad climática ha incidido en el aumento del nivel del mar sobre la línea de costa y en la vulnerabilidad de los centros urbanos ubicados sobre ella. Existe la posibilidad de afectaciones hasta 40 ó 50 km hacia el interior, tierra adentro, en las planicies o en regiones carentes de sistemas monta-

ñosos que puedan coadyuvar al debilitamiento de los fenómenos ciclónicos (Gay, 2000).

La falta de estudios específicos sobre ciclones tropicales impacta en la capacidad de adaptación y aplicación de estrategias eficientes para la disminución de daños causados a las sociedades expuestas., sobre todo cuando los ciclones se intensifican o cambian sus condiciones físicas. Cuando esto sucede se categorizan en función de estos atributos y se denominan según la velocidad de los vientos y humedad. Las trayectorias de los huracanes se han desarrollado desde el Océano Atlántico y las probabilidades de afectación a la sociedad y a la infraestructura aumentan en la medida que se acercan hacia la península de Yucatán (García, Adame y Alvarado, 2017).

Este trabajo de investigación proporciona un aporte conceptual sobre vulnerabilidad, producto de los ciclones tropicales, con un enfoque de cambio climático y a escala de secciones electorales. Esta vulnerabilidad se evalúa mediante la construcción de indicadores agrupados en las dimensiones propuestas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en: exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación. Los resultados obtenidos son estandarizados y ponderados para obtener el Índice de Vulnerabilidad Urbana por Ciclones Tropicales (IVUCT), el cual es aplicado en dos casos empíricos: la ciudad de Progreso de Castro y Motul de Carrillo Puerto, Yucatán.

Se espera que las ciudades estudiadas presenten grados altos de exposición en las secciones electorales ubicadas a menos de 10 kilómetros del centro de las trayectorias de los ciclones tropicales. La vulnerabilidad por sensibilidad aumentará en la medida que la población vulnerable cuente con menores capacidades sociales para asimilar los efectos en sus bienes personales. Por lo tanto, la capacidad de adaptación mantendrá una vulnerabilidad baja en la medida que los daños ocasionados al patrimonio de la población no se vea afectada o solo sea de carácter temporal, lo que coadyuvará en disminuir el tiempo de recuperación ante los efectos de los ciclones.

Para los próximos años se espera que las condiciones ambientales influyan en la formación de ciclones con una trayectoria cercana a las ciudades, pero esto dependerá de la humedad, lluvia invernal y temperatura que se acumule en la superficie.

10.3. Vulnerabilidad urbana por ciclones tropicales

Vulnerabilidad es un término surgido, desde una visión generada por el estrés, que causa una amenaza al territorio, consecuencia del riesgo que implica el entorno global, pero al mismo tiempo es consecuencia del mal uso y manejo de los recursos naturales y el medio ambiente. Al procesar las materias primas de forma industrial, se generan cambios físico-biológicos en el ambiente, aumentando el flujo de energía la cual no se regula y se almacena en la atmósfera alterando su composición y su ciclo natural en el entorno geográfico. La vulnerabilidad relacionada con el cambio climático es propiciada de manera negativa por el uso intensivo de los recursos disponibles en la naturaleza, por lo que las condiciones sociales que presentan los grupos de individuos menos favorecidos merman su capacidad de reaccionar ante los procesos climáticos (Lampis, 2013).

La definición de vulnerabilidad urbana en los procesos conceptuales se relaciona, en muchas ocasiones, con las investigaciones realizadas en torno al proceso analítico de riesgo-vulnerabilidad y desastre, por lo que las formas de evolución e interpretación conceptual dependerán de cada una de las diferentes disciplinas.

De esta manera la vulnerabilidad urbana a cambio climático presenta características más enfocadas a determinar los procesos técnicos y metodológicos, en los cuales la población está imposibilitada a resistir los efectos naturales de los eventos climáticos extremos, considera la susceptibilidad, magnitud y capacidad de adaptación a los cambios extremos presentados en el ambiente (UnHabitat, 2004). Además, se puntualiza que es la posibilidad de ser dañado, como el grado en que un sistema es susceptible e incapaz de hacer frente a los efectos adversos de una o varias amenazas o problemas, surge ante la presencia de eventos cada vez más extremos se espera que se intensifiquen en zonas urbanas que presenta un grado de aridez a desertificación producto de la variabilidad climática regional (Romero y Hua, 2011).

Por otra parte, para definir qué es un ciclón tropical, se parte de la noción conceptual para denominarlo; ¿Ciclón tropical o Huracán? La ubicación geográfica donde será uti-

lizado el término es muy importante, ya que existe sinónimos para referir el mismo evento en diversas regiones del mundo. Existen diferentes fuentes para definir a los ciclones tropicales, en este trabajo se considera la definición que señala a los huracanes, se debe partir del significado de ciclón tropical a la cual se clasifica de acuerdo con la presión atmosférica que existe en su centro o la velocidad de sus vientos (Rosengaus y otros, 2002). Sin embargo, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) describe a un ciclón tropical como un sistema frontal de escala sinóptica, de núcleo caliente, que se origina sobre aguas tropicales o subtropicales, dotado de convección profunda organizada y circulación cerrada de los vientos de superficie alrededor de un centro bien definido, se clasifica según su intensidad (OMM, 2005, p. 12).

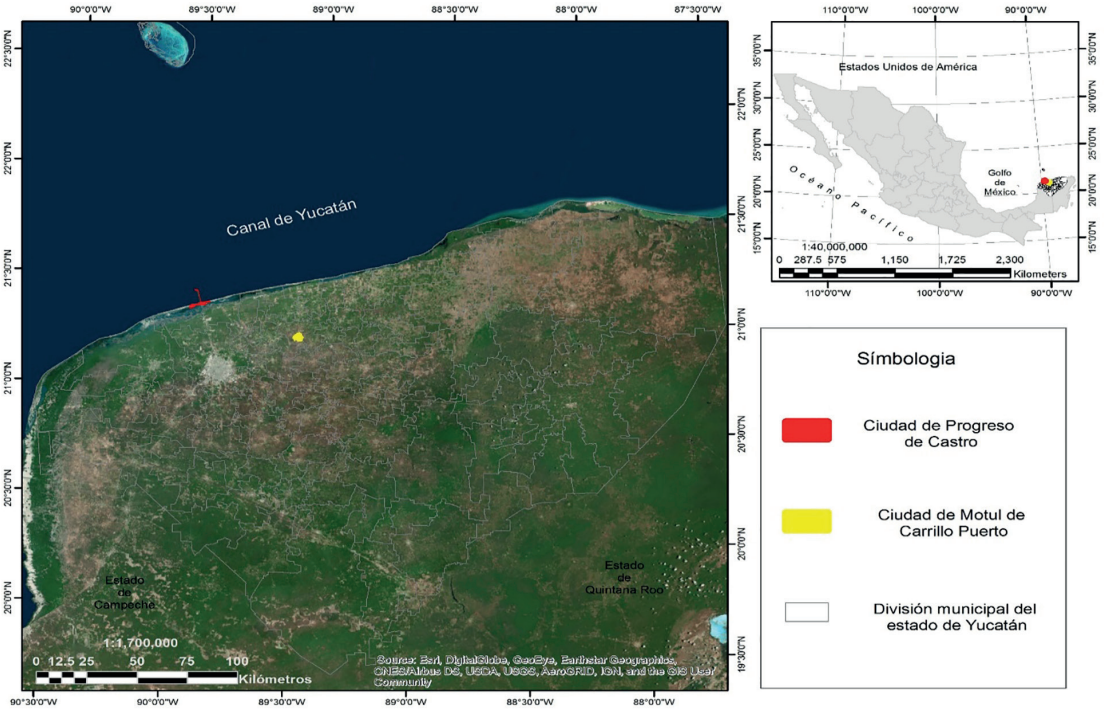
La categoría de un ciclón tropical la establece la escala Saffir-Simpson, que mide la intensidad de los vientos en superficie, nivel de destrucción y su probabilidad de daños generados a la infraestructura básica, según su trayectoria en la superficie terrestre. Cada evento ciclónico que se desarrolla en cualquier región en el mundo presenta condiciones de atmosféricas distintas, es lento o de rápido desarrollo que incide en la velocidad de los vientos con la que se desplaza; acumulación de humedad en los sistemas de espiral que se forma por la inestabilidad de las corrientes convectivas y su amplitud o tamaño que abarca en la atmósfera.

La vulnerabilidad urbana por ciclones tropicales en las ciudades es definida como *el grado en que las personas, grupos o comunidades en una sección de la ciudad, enfrentan los efectos del viento y precipitación de la trayectoria que se presenta en el territorio, los cuales ocasionan otros efectos como inundaciones o marejadas a consecuencia de la categorización de fenómeno, según las carencias en su capacidad de resistir, prever y adaptarse a los impactos en sus bienes personales, materiales e infraestructura que son afectados de forma parcial o temporal*. La forma de conciliar los distintos aportes realizados para el estudio del riesgo y la vulnerabilidad es mediante la integración de un marco conceptual y metodológico operativo que contribuya a la integración de las dimensiones, las cuales son evaluadas a través de indicadores y que permiten describir los grados de vulnerabilidad de cada sección electoral aplicado a los casos empíricos.

10.4. Materiales y métodos

La ciudad de Motul de Carrillo Puerto se localiza en el centro-este de Yucatán a 40 kilómetros de la costa y a 38 kilómetros de la ciudad de Mérida, es una ciudad intermedia que conecta a la capital con el oriente del estado (ver Gráfica 10.1). Desde el punto de vista histórico, su origen es muy antiguo aproximadamente de 1,100 D.C, y fue fundada por un sacerdote maya Zac Motul y sirvió para la colonización del norte de la península (Quezada, 2001).

La ciudad de Progreso de Castro se ubica dentro del municipio de Progreso, sobre la costa central del estado de Yucatán, a 36 kilómetros de la ciudad de Mérida (ver Gráfica 10.1), el proceso de fundación fue favorecido por la necesidad que presentaba la economía de la región a finales del siglo XVIII para la construcción del puerto, esto permitió la salida de mercancías producidas en la región, situación que favoreció el establecimiento de la ciudad como destino económico y social en la actualidad (Quezada y Frías, 2006) .



Gráfica 10.1. Localización de las ciudades
Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2010.

Con lo que respecta al paisaje Kárstico de Yucatán, este incide en la carencia de una barrera natural que ayude a obstaculizar el tránsito de fenómenos regionales como los ciclones tropicales. Sin embargo, el conjuntar el vínculo ambiental con el atmosférico y oceánico, inciden en la biodiversidad de plantas y animales endémicos o aquellos que son capaces de adaptarse a estas condiciones de humedad, alta temperatura y en ocasiones de alta salinidad por la escasa profundidad de la roca madre, así como la falta de suelo orgánico (Meyer, 1999).

Por su parte, las secciones electorales son unidades geoestadísticas con las cuales se pueden realizar estudios interurbanos, son utilizadas para agrupar áreas electorales las cuales están determinadas por el número de población votante que según la ley electoral vigente es de 750 a 1500 personas (INEGI y IFE, 2010). Estas secciones presentan una ventaja, la información sociodemográfica está determinada por la población que habita en estas áreas geográficas, por lo que el control de la información presenta una mejor oportunidad de realizar estudios a escala local, sobre todo cuando se trata de describir la situación intraurbana de la población dentro de una ciudad (Cadena y Campos, 2012). Para describir a las secciones electorales que se ubican hacia el interior de las ciudades de Motul y Progreso se hizo una zonificación, para analizar de una forma más ordena la distribución de los grados de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación (ver Cuadro 10.1).

Cuadro 10.1. Zonificación de las secciones electorales por ciudades

Ciudad	Clave de las secciones	Zona dentro de la ciudad
Motul de Carrillo Puerto	3152661	Noroeste
	3152662	Noreste
	3152663, 3152664, 3152666, 3152667	Centro
	3152668	Sureste
	3152665, 3152669, 3152670	Suroeste
Progreso de Castro	3159739 a 3159741	Oeste
	3159742 a 3159746	Norte
	3159747,3159748, 3159753	Este
	3159754 a 3159758 y 3159763	Sur

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI-IFE, 2010.

Existe una carencia de trabajos sobre la aplicación de metodologías en el análisis de la vulnerabilidad por eventos extremos en los centros urbanos, principalmente en aquellos que presentan altos niveles de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación por su ubicación geográfica, pero además por la concentración de la población urbana en ciudades, se estima sea alrededor del 75 por ciento para 2030 en el mundo (UNHabitat, 2004).

Los estudios de vulnerabilidad urbana revisados en la literatura se basan en evaluar los distintos tipos de vulnerabilidad (física, social, económico, cultural y política); pero aún no los aspectos urbanos e infraestructura. Los indicios sobre la manera de medir este tipo de vulnerabilidad, establece sus bases en la vulnerabilidad global, en la cual se agregan otros factores más específicos como los ambientales-ecológicos, sociales, económicos, políticos, pero no los urbanos e infraestructura, este último limita el desarrollo de las ciudades, con sus características internas propias que las hacen estar expuestas por su tamaño y crecimiento de su población.

En la generación de indicadores de vulnerabilidad al cambio climático es importante seleccionar una cantidad relativamente menor, y además deben reflejar la historia, el desarrollo y las proyecciones del fenómeno a analizar. Entre mayor número de indicadores se escoja, mayor la incertidumbre, por lo que se puede priorizar al momento de ponderar las variables; el índice de vulnerabilidad contempla los factores físico, social y económico.

La literatura prevé dos vertientes para la aplicación de métodos por indicadores: primero se asume que todos los indicadores tienen la misma importancia durante el cálculo; el segundo, asigna diferentes pesos para evitar la incertidumbre que significa la misma valoración y por lo complejo que resulta el manejo de diferentes escalas o medida dada la diversidad de los indicadores aplicados. Sobre este último, se conocen diferentes formas como el juicio de expertos desarrollado sobre análisis de componentes principales, correlación con eventos pasados (Brooks y otros, 2005) y lógica difusa (Eakin y Bojórquez, 2008; citado por Monterroso, 2012, p. 23,24).

a) Subíndice exposición

El componente externo de la vulnerabilidad se refiere a la exposición y riesgo a un determinado fenómeno o estresor (Monterroso, 2012). Para incrementar el conocimiento de la causalidad de los ciclones en las ciudades existen distintas maneras para evaluar la dimensión externa de la vulnerabilidad, una posible es hacerlo mediante indicadores biofísicos, aunque la aplicación está limitada por la subjetividad en la selección de sus variables, la asignación de ponderación y peso, así como la disponibilidad de información dificulta probar o validar los resultados, así lo señala (Luers y otros, 2003).

Las evaluaciones mediante indicadores biofísicos están enfocadas en los impactos físicos inducidos por los eventos extremos y los cambios futuros sobre variables climáticas como lo señala Füssel y Klein, (2006). De esta manera determina en parte el potencial con que se presentan los eventos, aunque estos no están determinados por sí mismo, son por las condiciones ambientales susceptibles a su trayectoria. Para definir la vulnerabilidad por exposición de las ciudades se considera cinco indicadores, estos están relacionados con las variables determinadas por la causalidad de los fenómenos ciclónicos, a saber:

I. *Ciclones tropicales (E1).* Se considera el número de eventos ciclónicos que presentaron una trayectoria 1 a 10 km de distancia entre la cantidad de eventos ciclónicos registrados con una trayectoria entre 1-200 km.
II. *Precipitación extrema diaria (E2).* Precipitación extrema diaria promedio entre la precipitación promedio mensual.
III. *Precipitación total acumulada (E3).* Precipitación total acumulada promedio entre precipitación total mensual.
IV. *Viento (E4).* Velocidad del viento promedio mensual entre velocidad del viento promedio anual.
V. *Urbanización (E5).* Superficie urbanizada entre superficie total.

b) Subíndice sensibilidad

La sensibilidad es la habilidad con la que cuenta el sistema ambiental para enfrentar un estrés o perturbación, se hace referencia al nivel en que un sistema es afectado,

o su capacidad de respuesta a un estímulo generado por un evento climático (Smit, Burton, Klein, y Wandel, 2009).

El análisis de este componente en el estudio de la vulnerabilidad urbana intenta vincular directamente los escenarios futuros del cambio climático con sus posibles efectos o impactos sobre las dimensiones socioeconómicas y urbana e infraestructura (Downing y Patwardham, 2006). Busca comprender el proceso mediante el cual los escenarios futuros se traducen en riesgos o impactos sobre un determinado grupo o sistema, son un aspecto relevante que pueden identificar puntos de intervención y de opciones de respuesta (Monterroso, 2012).

Para medir la vulnerabilidad urbana para cambio climático por sensibilidad se propone la aplicación de 16 indicadores, estructurados en tres subdimensiones: nueve para medir lo social, tres lo económico y cuatro para la infraestructura. Lograr describir esta parte de la vulnerabilidad urbana a cambio climático implica que pueden ser requeridas otras más variables que reflejen el impacto físico de los ciclones en estas ciudades, sin embargo, una de las razones principales es la falta de información fiable y disponible, la cual no se logra conseguir y más cuando existe una falta de sensibilización en los servidores públicos locales por trasmitir las acciones que permitan disminuir las problemas sin importar el color del partido que administra.

VI. *Densidad urbana (S1).* Población total entre superficie total en kilómetros cuadrados. Es un indicador medidor de la conglomeración de la población en un área determinada, en este caso sección electoral.
VII. *Población vulnerable infantil (S2).* Población de 0 a 14 años entre población total por 100.
VIII. *Población vulnerable adultos mayores (S3).* Población de 65 años y más entre población total por 100.
IX. *Población vulnerable femenina (S4).* Población femenina entre población total por 100.
X. *Hogares con jefatura femenina (S5).* Número de hogares con jefatura femenina entre total de hogares por 100.

XI. *Población analfabeta (S6).* Población de 15 años y más analfabeta entre población total por 100.

XII. *Población indígena (S7).* Población indígena entre población total por 100.

XIII. *Viviendas particulares habitadas con materiales en pisos (S8)*.

XIV. *Viviendas particulares habitadas con radio (S9).* Viviendas con disponibilidad de radio de comunicación entre total de viviendas habitadas por 100.

XV. *Población Económicamente Activa (S10)*. Población Económicamente Activa (PEA) entre población de 15 a 64 años por 100.

XVI. *PEA según ingresos (S11).* Población ocupada que gana hasta 2 Salarios mínimos entre total de población ocupada por 100.

XVII. *Población en pobreza de patrimonio (S12).* Población con pobreza de patrimonio entre población total por 100.

XVIII. *Calles con pavimentación (S13).* Superficie pavimentada entre superficie total de la sección electoral por 100.

XIX. *Calles con fosas de absorción (Alcantarillado pluvial) (S14).* Número de fosas de absorción entre superficie total por kilómetro cuadrado de la sección electoral.

XX. *Viviendas particulares habitadas con agua potable (S15).* Viviendas con agua potable entre total de viviendas habitadas particulares por 100.

XXI. *Viviendas particulares habitadas con servicios de drenaje (S16).* Viviendas con servicio de drenaje entre total de viviendas habitadas particulares por 100.

XXII. *Viviendas particulares habitadas con servicio de energía eléctrica (S17).* Viviendas con energía eléctrica entre total de viviendas habitadas particulares por 100.

c) Subíndice capacidad de adaptación

La capacidad de un sistema es propensa a modificar sus circunstancias propias de los individuos para moverse a una condición menos vulnerable. Pueden considerarse en función de la salud, tecnología, educación, infraestructura, acceso a recursos económicos, estabilidad política y capacidad de manejo dentro de un sistema ambiental (O'Brien y otros, 2004) y (Brooks y otros, 2005; citado por Monterroso, 2012, p. 75). La

adaptación debe enfocarse a los grupos sociales de menor ingreso ya que son estos los que más padecen en el momento de que se enfrentan a un fenómeno adverso (Adger, 1999).

En la vulnerabilidad urbana la infraestructura es la parte con menos probabilidad de adaptación, las obras realizadas para disminuir la vulnerabilidad de las personas quedan rebasadas en la medida que estas no aumentan las acciones para volverse más resilientes a eventos ciclónicos. El propósito de estudiar la capacidad adaptativa de un país, región o ciudad es buscar dirigir la adaptación hacia aquellas áreas o sectores de mayor exposición o menor capacidad para adaptarse a los fenómenos ciclónicos (Smith y Wandel, 2006). Para evaluar este componente, el cual resulta más subjetivo porque las variables dependen de las características menos técnicas de las ciudades, se proponen cuatro indicadores:

XXIII. *Refugios temporales (CA1).* Número de refugios temporales entre la población total por sección electoral.

XXIV. *Organizaciones sociales (CA2).* Número de asociaciones civiles. En cada ciudad la presencia de asociaciones o grupos de voluntarios que se conforman para la atención de emergencias como los ciclones tropicales, se coordinan con las autoridades para brindar asistencia a las personas que así lo requieran.

XXV. *Planes, programas de riesgo y vulnerabilidad (CA3).* Número de planes y programas de riesgo y vulnerabilidad.

XXVI. *Número de declaratorias de desastre (CA4).* Número de declaratorias de desastre entre número de eventos ciclónicos.

XXVII. *Evidencia de daños (D1).* Incorporar datos estadísticos oficiales de informes técnicos realizados posterior a un fenómeno ciclónico es parte de las propuestas para solventar la falta de datos en el análisis del riesgo y la vulnerabilidad (Hinkel, 2011).

La capacidad adaptativa está en función de la preparación de la sociedad para disminuir los daños que genera un ciclón, pero dependerá de la capacidad individual de los habitantes para resultar menos afectados de un fenómeno a otro, sin importar la

temporalidad a la que se presenten estos en la región. Cualquier acción positiva por mínima que se asuma, el resultado será la probabilidad de no ser afectado por un ciclón sin importar la localización hacia el interior de la ciudad.

10.5. Procesamiento de los indicadores

Para la construcción del Índice de Vulnerabilidad Urbana por Ciclones Tropicales (IVUCT) a cambio climático por subíndices, el procesamiento de los indicadores que fueron construidos a través de variables métricas permitieron analizar las condiciones que propician la vulnerabilidad al interior de una ciudad, en un principio fueron consideradas el mayor número de variables en función de la disponibilidad de datos obtenidos mediante la revisión hemerográfica, censal y de informes técnicos, así como del trabajo de campo (entrevistas a la población).

Terminado de construir los indicadores, se les aplicó el método de estandarización para la unificación de las unidades entre las variables de los indicadores por dimensiones. Este proceso es utilizado para ajustar, adaptar y homologar distintas formas, estilos o mediciones que se encuentran en diferentes unidades. La aplicación del método de ponderación por método Saaty, cuyo objetivo es el de llegar a expresar, en términos cuantitativos, la importancia de los distintos elementos; si bien es frecuente al asignar pesos a criterios, la especificación de los mismos es una cuestión en la que no existe un método generalmente aceptado para su determinación.

Se trata de una técnica multidisciplinar en la cual se unifican 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 aplicó la siguiente ecuación:

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

Donde:

Z = Dato estandarizado o normalizado
π = Valor nominal del dato a estadarizar
μ = Media aritmética
σ = Desviación estándar

Jerarquización o ponderación, descompone las estructuras complejas en componentes unilaterales, ordenando estos componentes o variables en una estructura jerárquica y obtiene valores numéricos para generar juicios de preferencia y además sintetiza o determina las variables que tienen más alta prioridad (Cadena y Campos, 2012; Ávila, 2016). Para llevar a cabo este proceso se aplicó la siguiente ecuación:

$$1/N/ + E1/N$$

Donde:

1	=	Valor ponderado
N	=	Número de jerarquización según indicado
E1	=	Indicador a ponderar

Este proceso permite quitar la incertidumbre de los datos extremos, haciéndolos menos distantes. Por último, se aplicó la ecuación para la obtención del IVUCT por subíndices de indicadores a nivel de sección electoral, los resultados permitieron el cálculo de los subíndices exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa como lo describe el (IPCC, 2007).

$$E = \frac{E1 + E2 + E3 + E4 + E5}{5}$$

$$S = \frac{\frac{S1 + S2 + S3 - S4 + S5 + S6 + S7 + S8 + S9}{9} + \frac{S10 + S11 + S12}{3} + \frac{S13 + S14 + S15 + S16 + S17}{5}}{CA = \frac{CA1 + CA2 + CA3 + CA4}{4}}$$

Donde:

E	=	Exposición
S	=	Sensibilidad
CA	=	Capacidad de adaptación

Al integrar los subíndices mediante la aplicación de cálculos aritméticos como suma y resta, se obtiene el índice de vulnerabilidad, este método ha sido utilizado por (Eakin y Bojórquez, 2008) para el análisis multicriterio y fue retomado en esta investigación para la medición de la vulnerabilidad urbana por ciclones tropicales a escala de secciones electorales. Ahumada y otros (2015), aplicaron esta misma operación para el

cálculo de la vulnerabilidad a cambio climático en el sector agrícola mexicano, construido a través de indicadores basados en áreas censales básicas.

$$IVUCT = \frac{\exp osición + sensibilidad + (-capacidad\ adaptativa)}{3}$$

La aplicación de esta fórmula genera un índice integrador de los factores causales que determinan el grado de vulnerabilidad de un lugar respecto a los elementos con los que cuentan la sociedad urbana para enfrentar una amenaza por ciclones tropicales. Para categorizar el grado de vulnerabilidad al interior de las ciudades, se aplicó el método de semaforización para la representación cartográfica de los resultados a escala de sección electoral. Es una alternativa para explicar los resultados del cálculo de este índice, además de integrar las zonas en las que se divide la ciudad, por lo que de esta manera simplifica posibles controversias generadas en la interpretación de los mismos (BID, 2010).

10.6. Escenarios de cambio climático en la península de Yucatán

Los escenarios de cambio climático son imágenes generadas para la formulación de escenarios sobre lo que podría acontecer en el futuro, constituyen un instrumento apropiado para el análisis sobre las fuerzas determinantes de las emisiones de gases de efecto invernadero y su posible evaluación del margen de incertidumbre. Es importante mencionar que no son predicciones ni pronósticos los escenarios construidos para la península de Yucatán, esto se debe a que la incertidumbre de los modelos proyectados sobre las alteraciones del clima, solo reflejan un rango posible ante las variaciones de las emisiones de GEI producto de las actividades humanas (Orellana, Espadas, Conde y Gay, 2009:3).

En la península de Yucatán el cambio climático está latente y delimitado por tres sistemas oceánicos: Golfo de México, Canal de Yucatán y Mar Caribe, origen de la presencia de los ciclones tropicales en la temporada de verano-otoño. Aunque el acer-

camiento de los ciclones a la península depende de las condiciones del estado del medio ambiente, ello permite detonar su potencialidad de daños que podrían generarse y depende de los factores como: situación demográfica, económica, social y de infraestructura de cada una de las ciudades expuestas.

Para el estudio de la vulnerabilidad urbana por ciclones tropicales se describen tres tipos de escenarios construidos para la región peninsular con variables asociados a las condiciones ambientales que permiten el desarrollo de trayectorias ciclónicas: a) precipitación pluvial; b) P/T o índice de Lang,y c) lluvia invernal. Los cuales han sido calculados para la península de Yucatán y que son retomados para identificar los escenarios propuestos sobre las condiciones ambientales de humedad y temperatura que podrían presentar las ciudades de Motul de Carrillo Puerto y Progreso de Castro al año 2020.

Existen distintos tipos de escenarios construidos para la península de Yucatán, que son: 1) HADCM3A1F1 con un uso intensivo de combustibles fósiles; 2) HADCMEB11 que representa una baja emisión de CO_2 , y 3) HADCMEB21 ambiente de bajas emisiones (ver Cuadro 10.2). La elección de estos escenarios de cambio climático obedece a las condiciones más comunes que se presentan a nivel regional, por lo tanto, influyen en las condiciones ambientales que permiten la formación de los fenómenos ciclónicos en los océanos más activos del mundo.

Cuadro 10.2. Condiciones ambientales según tipo de escenario de cambio climático en las ciudades.

Ciudad	Variable	Escenario base (mm)	Escenario HADCM3A1F1	Escenario HADCMEB11	Escenario HADCMEB21
Motul de Carrillo Puerto	Precipitación total anual	900-1,000	600 - 700	600 - 700	400 - 500
	Índice de Lang	22.9 – 43.2	5 – 10.2	22.9 – 43.2	22.9 – 43.2
	Lluvia invernal	5 - 10.2	10.2 - 18	5 - 10.2	>18
Progreso de Castro	Precipitación total anual	< 600	< 500	< 500	< 300
	Índice de Lang	< 22.9	< 5	22.9 – 43.2	22.9 – 43.2
	Lluvia invernal	Zona SE. >10.2, Resto de la ciudad 5 - 10.2	Zona SE. 10.2 – 18, Resto de la ciudad 5 -10.2	5 - 10.2	>18

Fuente: Elaboración propia con base en Orellana, Espadas, Conde y Carlos Gay, (2009).

10.7. Resultados

Para atender el problema de la vulnerabilidad urbana se debe estudiar la distribución de la exposición y sensibilidad hacia el interior de las ciudades, el aporte que se presenta en este trabajo está relacionado con la forma de interrelacionar información cuantitativa, disponible en las estadísticas censales y datos cualitativos, que permite identificar qué acciones contribuyen en la prevención de daños en las personas, sus bienes personales, la protección de la infraestructura urbana y de la interrupción de las actividades económicas locales.

La vulnerabilidad en los centros urbanos está determinada por las condiciones ambientales, sociales, económicas, políticas, urbanas e infraestructuras, sí se le agrega una escala local se puede identificar las áreas más susceptibles a sufrir daños por los ciclones tropicales. Pero estas variables son aplicadas con el enfoque de cambio climático, como lo propone el IPCC, para determinar la operacionalización de la vulnerabilidad a través de los tres subíndices que complementan los enfoques previos de riesgo y gestión de riesgos como parte de la evolución conceptual, el cual es un aporte de esta investigación.

La distribución de la vulnerabilidad por ciclones tropicales está determinada en tres grados de probabilidad de afectación: alto, medio y bajo, cada uno acotado a las condiciones de fragilidad del territorio expuesto, cada subíndice presenta una distribución espacial uniforme hacia el interior de las ciudades, aunque hay cosas en común que determinan grados similares en ambas ciudades. La exposición es parte de la dimensión ambiental, incluye las condiciones probables de que los ciclones tropicales se presenten en las ciudades o cuando estos propician que sus efectos repercutan a través de la perturbación de las actividades sociales, económicas y estado urbano e infraestructura que enfrentan los habitantes anualmente.

La vulnerabilidad en Motul es alta por exposición en la zona sur, se ubica en la franja de tránsito de los ciclones, mismos que presentan trayectorias de sur a norte de la península. Además su nivel de sensibilidad es alta porque es donde se ubica la población más vulnerable a ser afectada, carente de infraestructura urbana y por ende con

menores capacidades de adaptarse ante los efectos del viento, intensas precipitaciones, principalmente.

La ciudad de Progreso está integrada por 18 secciones electorales agrupadas en cuatro zonas, la vulnerabilidad es alta en la parte norte y oeste de la ciudad por la propensión de inundación del mar hacia el manglar. Es sensible en las zonas este y oeste donde se ubican las áreas de menor densidad urbana, mayor población vulnerable y superficie urbana ganada tanto a la parte de manglar como al mar. La capacidad de adaptación es muy baja en general en la ciudad, esto se debe a la falta de actualización de esquemas que disminuyan la probabilidad de afectación de la población, que ante el alertamiento de ciclón es evacuada hacia el interior del estado (ver Cuadro 10.3).

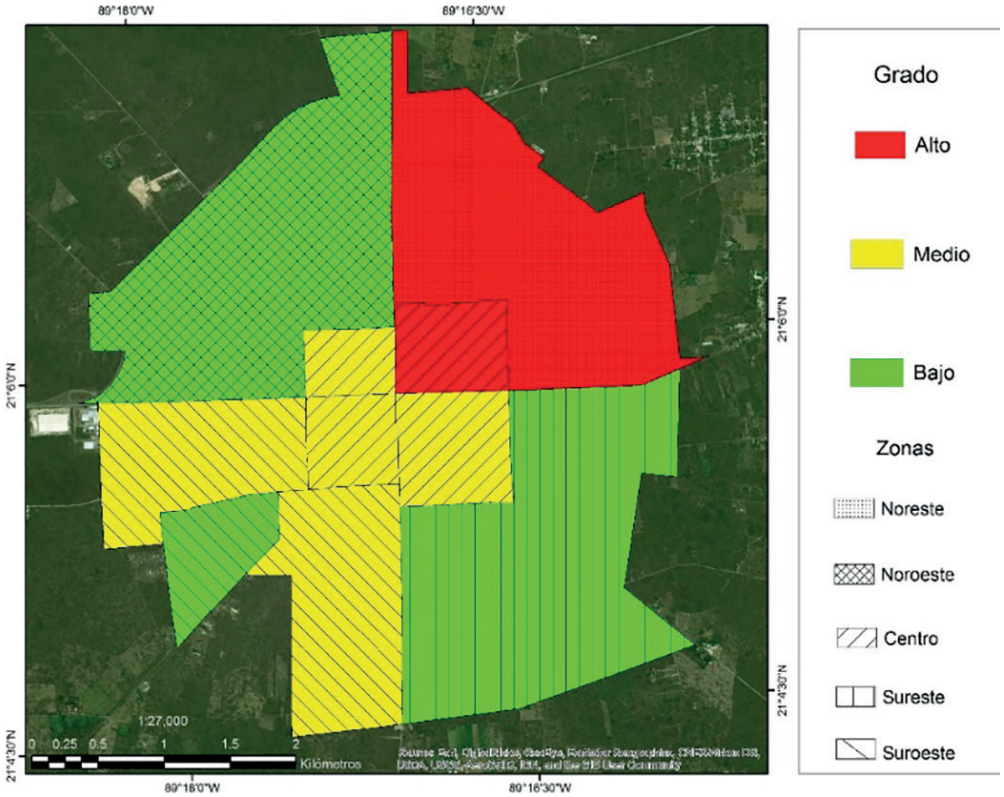
La presencia de ciclones en las ciudades ha presentado daños importantes a lo largo de la historia urbana, la cercanía de las trayectorias con los centros urbanos ha determinado la cantidad de daños que han podido generar cuando han cruzado por la península de Yucatán, aunque hay que decir, el 80 por ciento de ellos han llegado como huracanes y el resto como tormentas tropicales o categorías menores. Disminuyen la intensidad cuando entran a tierra adentro, pero siguen su trayectoria una vez que llegan al canal de Yucatán o Golfo de México. En el caso de dos huracanes en particular, Gilbert (1988) e Isidore (2002), dejaron una huella profunda, traumas psicológicos, en la población joven y adulta de ese tiempo.

Cuadro 10.3. Grados de vulnerabilidad urbana por ciclones tropicales por subíndices de cambio climático en las secciones electorales de las ciudades.

Ciudades	Zonas	Exposición	Sensibilidad	Capacidad de adaptación
Motul de Carrillo Puerto	Noreste	Medio	Medio	Alto
	Noroeste	Medio	Alto	Medio
	Centro	Medio-Bajo	Medio-Bajo	Medio
	Sureste	Alto	Alto	Medio
	Suroeste	Alto	Alto	Medio-Bajo
Progreso de Castro	Este	Medio-Bajo	Alto-Medio	Bajo
	Sur	Medio-Bajo	Medio-Bajo	Bajo
	Oeste	Alto-Medio	Alto-Medio	Bajo
	Norte	Alto-Medio	Medio-Bajo	Bajo

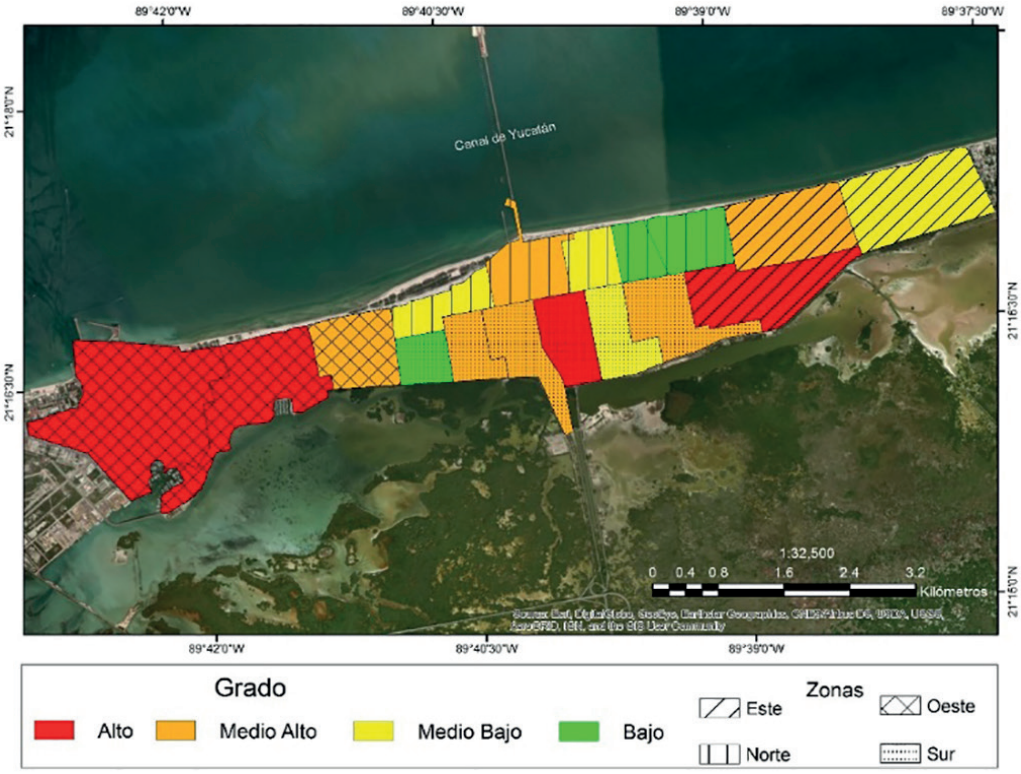
Fuente. Elaboración propia

El índice de vulnerabilidad urbana por ciclones tropicales por subíndices de cambio climático en Motul de Carrillo Puerto considera a la zona noreste de la ciudad con alta probabilidad de ser afectada por ciclones, aquí se presentan buenas condiciones de infraestructura, servicios públicos amplios, menor sensibilidad y mayor capacidad de adaptación ante la probabilidad de alertamiento de ciclones (ver Gráfica 10.2).



Gráfica 10.2. Índice de vulnerabilidad urbana por ciclones tropicales en la ciudad de Motul a nivel de secciones electorales. Fuente: Elaboración propia

En la ciudad de Progreso el índice de vulnerabilidad urbana por ciclones tropicales, por subíndices de cambio climático, es alto en tres secciones electorales de tres partes: este, sur y oeste. Se caracterizan por ser terrenos de menor densidad urbana, reciente crecimiento urbano, expuestas a inundaciones tanto por el mar como por la zona de manglar, además de presentar carencias en el suelo para filtrar los excesos de precipitación al subsuelo, son áreas donde habita población de bajos recursos económicos, con probabilidad de afectaciones a las viviendas y a la infraestructura urbana (ver Gráfica 10.3).



Gráfica 10.3. Índice de vulnerabilidad urbana por ciclones tropicales en la ciudad de Progreso a nivel de secciones electorales. Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos, de los escenarios de cambio de cambio climático y en función del escenario base, la precipitación total anual presenta una tendencia a ser menor entre un 20 a 50 por ciento agudizándose más hacia la ciudad de Motul de Carrillo Puerto. Sin embargo, el porcentaje en la ciudad de Progreso de Castro es menor entre 15 y 20 por ciento solamente, esto implica que será más húmedo a pesar de estar ubicado en la costa para los siguientes cinco años.

Con lo que respecta al índice de Lang, este describe el grado de humedad o aridez que presenta una región, considera como datos fundamentales las precipitaciones a lo largo del año y las temperaturas medias anuales (como indicador de la capacidad de evaporación), a la vez que sirven como fuente de energía para el desarrollo de ciclones y de sus trayectorias en la superficie terrestre (Orellana, Espadas, Conde y Gay, 2009).

Para la ciudad de Motul de Carrillo Puerto la tendencia de este índice es mantenerse estable entre humedad y temperatura, con respecto al escenario base. Sin embargo,

en la ciudad de Progreso el índice presenta una tendencia mayor al escenario base, la condición de mayor humedad y temperatura media se mantendrá constante, por lo que existe un aumento superior al 50 por ciento.

La precipitación invernal registrada fuera del periodo de ciclones tropicales, permite amortizar la humedad ambiental para la siguiente temporada de secas. Sin embargo, para que la precipitación se presente en invierno se requiere de dos tipos de fenómenos regionales: el primero, los frentes u ondas frías del Norte (vientos helados que se desplaza hacia el Sur a latitudes menores que al cruzar por zonas acuáticas adquieren humedad); y el segundo, son altas presiones de zonas tropicales donde existe mayor temperatura provocando zonas de convergencia (alta y baja presión).

La tendencia futura de lluvia invernal en la ciudad de Motul, de acuerdo a condiciones de los escenarios de alto consumo de combustibles fósiles y bajo consumo de energías, aumentará un 50 por ciento comparado con el escenario (ver cuadro 2), pero en la ciudad de Progreso esta se mantiene en el mismo porcentaje, aunque es la parte Sureste donde el porcentaje aumentará en un 50 por ciento con el escenario base.

10.8. Discusión

Entre la comunidad científica existe un esfuerzo por explicar los constantes daños provocados por fenómenos naturales, los cuales han ocasionado incuantificables pérdidas económicas principalmente en lugares vulnerables y en aquellos sectores de la población que presentan alguna condición de precariedad individual o familiar.

El énfasis de la discusión científica se centra en la vulnerabilidad ante el riesgo actual, se ha buscado una delimitación de las fronteras conceptuales, incluidas las variables, las cuales se han aplicado con dos enfoques: la vulnerabilidad por riesgo y por cambio climático. Aunque no se ha logrado establecer los alcances que permita que la vulnerabilidad sea analítica y operativa, como es el caso de los estudios por fenómenos ciclónicos, abordados desde los estudios urbanos, en el proceso de análisis de la vulnerabilidad global.

La adhesión de las variables sociales, en los estudios de riesgo físico, en un inicio ha contribuido al cambio de paradigma sobre la importancia de la investigación multidimensional, donde cada una de las disciplinas aporta herramientas y técnicas para el estudio de la vulnerabilidad. Con esto se cubren carencias metodológicas y de información, al mismo tiempo se consolidan hipótesis formuladas desde la visión del riesgo, donde solo se incluía el estudio físico de las amenazas o peligros.

En la mayoría de los enfoques analizados por Brooks (2003), considera que no está claro el concepto de vulnerabilidad, además de ser indistinto a su utilización en diferentes contextos se manifiesta como una manera de ejemplificar que los investigadores de peligros darán hincapié en el concepto de riesgo, mientras que los científicos de las ciencias sociales y climáticos prefieren aplicar la vulnerabilidad por etapas (Downing y otros, 2001).

Por lo tanto, Timmermann (1981) propone añadir al concepto de vulnerabilidad una combinación de elementos de peligro y de la respuesta humana, por lo tanto el espacio geográfico y social son incautados. En este sentido, la vulnerabilidad se considera como un efecto combinado de peligro biofísico y de respuesta humana con una localización específica.

Autores como Mansilla (2000), Almejo (2011), Lavell (2010), Cardona (2012) y Lampis (2013) coinciden en que la forma de explicar y analizar los fenómenos perturbadores debe ser desde diferentes disciplinas para generar conclusiones multidimensionales que contribuyan al fortalecimiento de las capacidades técnicas de las poblaciones expuestas, dando prioridad a los más rezagados e impulsar la capacitación entre los gobiernos para la atención de los fenómenos más recurrentes, mediante mecanismos técnicos eficientes y el apoyo de nuevas tecnologías para el pronóstico, seguimiento y prevención de futuros daños.

Por esta razón el concepto de vulnerabilidad está profundamente arraigada en el campo de los riesgos naturales y la pobreza. La vulnerabilidad no tiene una definición universal, pero sin duda se trata de una herramienta de análisis de gran alcance en la descripción de las condiciones actuales en la susceptibilidad al daño, la impotencia y la

marginalidad de los sistemas físicos y socio-ecológicos. Al mismo tiempo, para guiar el análisis normativo en medidas para mejorar el bienestar a través de la reducción del riesgo (Adger, 2006).

Para que la disminución de la vulnerabilidad en las ciudades sea una alternativa de solución a los daños de desastres que impactan cada vez más a las sociedades, hay que promover medidas que permitan fortalecer la capacidad de adaptación de la población a escala local y disminuir la exposición a los cambios ambientales que implica el aumento en la temperatura global a nivel local y regional. El United Nations Environment Programme (2013) a través del IPCC han promovido mecanismos de cooperación técnica entre las naciones con mayor rezago a la adaptación del riesgo y vulnerabilidad mediante asistencia, la cual incluye acciones para reducir el potencial de daños en los centros de población, sin embargo, la falta de información dificulta que las respuestas a los problemas de vulnerabilidad sean infructuosas ocasionando que la resiliencia avance de manera lenta y con mínimo de éxito en comunidades con niveles altos de afectación por los efectos del cambio climático.

Los futuros estudios de vulnerabilidad deberán contener los efectos del cambio climático en la sociedad, además de incluir los distintos subíndices descritos por los autores anteriormente mencionados. Se inicia con la parte física, social y económica, destacando la inclusión de las variables urbanas e infraestructura para el caso de la vulnerabilidad en el ámbito urbano, ya que es en ella donde la población se concentrará en las siguientes décadas.

Pero no se trata de contraponer el concepto de vulnerabilidad como una herramienta metodológica incluyente sino conductora de variables que integran las dimensiones que la componen. Ello con el propósito de integrar indicadores que determinen la probabilidad de afectación por un fenómeno natural, asociado con alteraciones medio ambientales que se presentan, como producto de las emisiones de GEI derivadas por actividades humanas.

La importancia de los escenarios de cambio climático en la gestión del riesgo, implica la aplicación operativa de la zonificación de la vulnerabilidad en políticas local, mediante

la inducción de instrumentos de planeación territorial, considerando como objetivo primordial la disminución del riesgo que enfrentan las ciudades situadas en corredores ciclónicos, como es el caso de Yucatán.

10.9. Conclusiones

La aplicación de la propuesta metodológica para evaluar la vulnerabilidad urbana, por ciclones tropicales con enfoque de cambio climático, ha permitido definir las áreas propensas a ser afectadas por futuros eventos ciclónicos hacia el interior de las ciudades analizadas. No existen antecedentes de estudios que determinen, a mayor nivel de detalle, la probabilidad que presenta la población urbana de evaluar el grado de vulnerabilidad en función de los subíndices que propone el IPCC para la aplicación de medidas operativas.

Se han definido los alcances que presenta la cantidad de indicadores por subíndices propuestos en este trabajo, los cuales solo cubren los aspectos dimensionales estudiados previamente en la literatura: ambiental, social, económico, pero se ha considerado lo urbano y la infraestructura, además de la cantidad de daños generados mediante la recolección de datos hemerográficos. Esta forma de medir la vulnerabilidad ha sido adaptada de otros estudios que tienen el mismo propósito, aunque no en la misma escala territorial, lo que conlleva a fortalecer el desarrollo local.

La propuesta de indicadores cumple con el propósito de evaluación de la vulnerabilidad, con enfoque en lo urbano, en los subíndices de exposición y sensibilidad, pero requiere mayor amplitud en la capacidad adaptiva, la cual es subjetiva la forma de evaluar por el tipo de información disponible, por lo que se deben aplicar otras técnicas de trabajo de campo para recolectar datos que permitan operacionalizar la vulnerabilidad de la sociedad ante cualquier evento perturbador.

Se sugiere que los resultados obtenidos con el índice de vulnerabilidad urbana deben ser incorporados en los estudios sobre el riesgo y vulnerabilidad. La inclusión en los consejos de protección civil locales, servirán de referencia para estudios asociados con

el impacto de los ciclones tropicales y la elaboración de propuestas para mitigar los daños de desastre ocasionados en las viviendas, infraestructura, entre otros.

Conocer las condiciones ambientales futuras probables influye en el fortalecimiento de las capacidades técnicas operativas sobre la reducción de la vulnerabilidad local, así como adoptar e implementar acciones enfocadas en prevención de daños en la infraestructura. La lluvia invernal, la precipitación y humedad en el ambiente son factores geográficos que inducen al acercamiento de los ciclones tropicales en el estado de Yucatán, por lo que conocer los volúmenes de precipitación extrema debería facilitar la toma de decisiones en los organismos encargados de regular la capacidad y administración de los recursos a nivel regional.

10.10. La gestión local ante la vulnerabilidad urbana por ciclones tropicales

El interés de los gobiernos locales por retomar la cultura de la prevención de daños entre la sociedad mexicana propone esquemas de adaptación a los efectos del cambio del clima global en las áreas urbanas costeras. Además, que el crecimiento de las ciudades debe estar referida a estudios científicos que contribuyan a disminuir los daños por desastre en la población que habitan en la costa.

Las sociedades preparadas para enfrentar y resistir el riesgo y la vulnerabilidad que han sido previstos, posen una cultura de riesgos que implica, voluntad, cooperación y solidaridad; donde existe organización y capacidad técnica para poder afrontar estos fenómenos extremos, también existe la posibilidad de minimizar los daños por desastre. Lo anterior, sirve para fomentar el desarrollo de investigaciones que fortalezcan las capacidades técnicas y científicas de las ciudades que se encuentran expuestas a ciclones tropicales en su territorio (Cilento, 2005).

La forma de articular el conocimiento a través de estudios más específicos permite la elaboración de instrumentos de gestión local, a través de planes y programas, que permitan garantizar la mitigación del riesgo y con ello evitar la vulnerabilidad ante

ciclones tropicales y su intensificación derivada del cambio climático. La Ley de Protección Civil establece la necesidad de fortalecer los mecanismos de desarrollo local, por lo que los estudios científicos contribuyen a reforzar las capacidades en las autoridades que intervienen en la planeación territorial.

No solo es construir conocimiento sino difundirlo para que permee en la sociedad local, lo que permitirá que se consideren acciones de prevención ante fenómenos cada vez más intensos. Pero además, desde el punto de vista gubernamental, se gestione la infraestructura urbana que coadyuve a evitar el colapso ante los factores extremos que se puedan presentar.

10.11. Agradecimiento

Este trabajo de investigación fue presentado durante la V Reunión Anual como parte de las actividades de estudiante en formación asociado con un miembro activo, de REDESClim. Agradecemos profundamente la incorporación del trabajo a la publicación final resultante de las actividades de la red en 2018.

10.12. Referencias

Adger, W. Neil, (1999). "Social vulnerability to climate change and extremes in coastal Vietnam. *World Development*". No *27*(2). 249-269 pp.

Adger, W. Neil, (2006). "Vulnerability", *Global environmental change*, No.16 (3), pp. 268-281.

Ahumada Cervantes Ramiro, Velázquez Angulo, Gilberto, Rodríguez Gallegos, Hugo B., Flores Tavizón Edith, Félix Gastélum, Rubén, Romero González, Jaime y Alfredo Granados-Olivas, (2015). "An indicator tool for assessing local vulnerability to climate change in the Mexican agricultural sector". *Mitig Adapt Strateg Glob Change*. DOI 10.1007/s11027-015-9670-z.

Almejo Hernández Rubén, (2011). "Vulnerabilidad sociodemográfica ante eventos hidrometeorológicos". En Consejo Nacional de Población (CONAPO). La situación demográfica de México 2011, Secretaría de Gobernación (SEGOB), México DF, pp. 209-223.

Álvarez de la Torre, Guillermo, (2011). "Estructura y temporalidad urbana de las ciudades intermedias en México". Revista Frontera Norte, Volumen 23, No. 46, julio-diciembre, pp. 94-124.

Ávila Flores Omar, (2016). La habitabilidad de las viviendas en la zona metropolitana de Toluca. Tesis Doctoral en Urbanismo. Facultad de Planeación Urbana y Regional. Universidad Autónoma del Estado de México.

Banco Interamericano de Desarrollo (BID), (2010). Indicadores de riesgo de desastre y de gestión de riesgos: Programa para América Latina y el Caribe: Informe resumido, No. 42398, Inter-American Development Bank, pp. 45.

Brooks, N., 2003. Vulnerability, risk and adaptation: a conceptual framework. Working Paper 38, Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich. Available at: www.tyndall.ac.uk.

Brooks, N., Neil Adger, W., and Mick Kelly, P. (2005). "The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation". *Global environmental change*. No *15*(2). 151-163 pp.

Cadena, Edel y Juan Campos, (2012). "Vulnerabilidad social y comportamiento social. Un análisis por secciones electorales", Revista papeles de población, No. 71, CIEAP/UAEM, pp. 1-43.

Cilento Sarli, Alfredo, (2005). "Capacidad de resistencia, vulnerabilidad y cultura de riesgos". Espacio Abierto, Vol. 14, No. 2, abril-junio, pp. 265-278.

Cardona, Omar. D., (2012) "Un marco conceptual común para la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático: encuentros y desencuentros de una iniciativa insoslayable". En Briones, Fernando, (Coord). Perspectivas de investigación y acción frente al cambio climático en Latinoamérica. Número especial de Desastres y Sociedad en el marco del XX Aniversario de La Red. La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED). Mérida, Venezuela. 13-38 pp.

Eakin, Hallie y Luis A. Bojórquez Tapia, (2008). "Insights into the Compositión of househould vulnerability from multicritería decision analysis. *Global Enviromental Change*. Vol.18. 112-127 pp.

Downing, T.E., Butterfield, R., Cohen, S., Huq, S., Moss, R., Rahman, A., Sokoma, Y. y Stephen, L. (2001). Vulnerability indices: climate change impacts and adaptations. United Nations, New York, USA.

Downing, T. y Patwardham, A. (2006). Technical paper 3: Vulnerability assessment for climate change adaptation., in: Lim, B., Spanger, E. (Eds.), Adaptation Policy Framework. United Nations Development Program., New York, USA, 251 pp.

Füssel, H.M. y Klein, R.J.T., (2006). "Climate change vulnerability assessment: An evolution of conceptual thinking". Climatic Change, No 5, pp. 301-329.

García B. Marcelino, Adame M. Salvador y Alejandro R. Alvarado G., (2017). "Urbanización e impacto de los ciclones tropicales en la ciudad de Progreso, Yucatán". *Revista Nova Scientia.* Vol. 9 (2), Núm. 19. 819-849 pp.

Gay García Carlos (Comp), (2000). *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*. Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, US Country Studies Program. México, pp. 220.

Hinkel Jochen, (2011). "Indicators of vulnerability and adaptive capacity: Towards a clarification of the science–policy interface", Global Environmental Change, No. 21, pp. 198–208.

Instituto Nacional de Estadística Geografía, (INEGI), (2010). Marco geoestadístico nacional. Consultado en www.inegi.org.mx. Consultado el 25 de agosto de 2014.

Instituto Nacional de Geografía Estadística (INEGI) e Instituto Federal Electoral (IFE), (2010). Estadísticas censales a escalas geoelectorales 2010. Disponible en internet http://gaia.inegi.org.mx/geolectoral/viewer.html#, Consultado el 15 de diciembre de 2012.

Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC), (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.[Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Panel Intergubernamental de Cambio Climático, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

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, Num. 2, julio-diciembre, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, pp. 17-33.

Lavell, Allan, (2010). "Desastres urbanos: una visión global". Woodrow Wilson Center and ASIES Guatemala publication.

Luers, A.L., Lobell, D.B., y otros, (2003). "A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, México". *Global Environmental Change.* No. 13, 255-267 pp.

Mansilla, E. (2000). Riesgo y ciudad (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Autónoma de México. División de Estudios de Posgrado. Facultada de Arquitectura).

Meyer-Arendt, K.J., (1999). "Impacto ambiental provocado por el cambio del uso de suelo en la zona de Progreso, Yucatán". En Universidad Autónoma del Estado de Yucatán, (UADY).

Atlas de Procesos Territoriales de Yucatán, Universidad Autónoma de Yucatán, México City, pp. 259-261.

Monterroso, Rivas Alejandro I, (2012). Contribución al estudio de vulnerabilidad al cambio climático en México. Tesis Doctoral en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.

Organización Meteorológica Mundial (OMM), (2005). Programa de ciclones tropicales. N° 494, Informe PCT-30, Asociación Regional IV (América del Norte, América Central y el Caribe), Plan Operativo sobre Huracanes, Ginebra-Suiza, pp. 12.

O'Brien, K.L., Leichenko, R.M., Kelkar, U., Venema, H.M., Aandahl, G., Tompkins, H., Javed, A., Bhadwal, S., Barg, S., Nygaard, L. y West, J. (2004). Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization un India. *Global Environmental Change* 14, 303-313.

Orellana, Roger, Espadas, Celene, Conde, Cecilia y Carlos Gay, (2009). Atlas de escenarios de cambio climático en la península de Yucatán. Mérida: Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY). 111 pp.

Quezada Sergio, (2001). Breve historia de Yucatán, Serie breve historia de los estados de la república mexicana, Colegio de México y Fondo de Cultura Económica. México, pp, 288.

Quezada Domínguez Delfín y Romeo Frías Bobadilla, (2006). Puerto Progreso Yucatán. Pasado y presente. Ayuntamiento de Progreso. Colegio Yucatanense de Antropólogos A.C, pp. 194.

Romero Lankao, Patricia, Qin, Hua, (2011) "Conceptualizing urban vulnerability to global climate and environmental change", Current Opinion in Environmental Sustainability, No. 3, pp. 142–149.

Rosengaus Moshinsky. M, Jiménez Espinosa M. y Vázquez Conde M.T., (2002). Atlas climatológico de ciclones tropicales en México, Secretaría de Gobernación (SEGOB) y Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), México D.F, pp.106.

Saaty, Thomas, (1988). The analitical hierarchy process. Mc Graw Hill.

Smit, B., y Wandel, J. (2006). "Adaptation, adaptive capacity and vulnerability". *Global environmental change*. No. 16(3). 282-292 pp.

Smit, B., Burton, I., Klein, R. y Wandel, J. (2009) An anatomy of adaptation to climate change and variability, in: Schipper, L., Burton, I. (Eds.), The Earthscan reader on adaptation to climate change. The Earthscan Reader, Sterling VA, USA, p. 459.

Timmermann, P., (1981) Vulnerability, Resilience and the Collapse of Society. No. 1, En Environmental Monograph. Institute for Environmental Studies, University of Toronto.

United Nations, (2004). Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). 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 to 9 September 2004.

United Nations Environment Programme, (UNEP), (2013). Research Priorities on Vulnerability, Impacts and Adaptation. Responding to the climate change challenge. Nairobi, pp. 46. Disponible en: http://www.unep.org/pdf/DEW1631NA.pdf. Consultado 14 de octubre de 2013.