

Índice de resiliencia urbana costera para el manejo de residuos sólidos urbanos

Index of urban coastal resilience for the management of urban solid waste

María Luisa Hernández-Aguilar*✉, Randy Mauricio Martínez-Torres*,
Gerardo Daniel López-Montejo*

Hernández-Aguilar, M. L., Martínez-Torres, R. M., & López-Montejo, G. D. (2021). Índice de resiliencia urbana costera para el manejo de residuos sólidos urbanos. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 29(84), e2808, <https://doi.org/10.33064/iycuaa2021842808>

RESUMEN

Los huracanes representan la mayor amenaza de las comunidades costeras. Pueden convertir ciudades enteras en escombros y dejar sus calles cubiertas de basura, animales muertos y desechos tóxicos. El objetivo principal fue determinar el grado de resiliencia en el manejo de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de la ciudad costera de Tulum, Quintana Roo, México, tras el impacto de un huracán. En este sentido, el enfoque de resiliencia se centra en la capacidad de respuesta institucional para la continuidad de operaciones durante una situación de emergencia. Se construyó un modelo definido por componentes e indicadores para la amenaza natural, la vulnerabilidad en la gestión institucional y capacidad de respuesta. Se obtuvo un grado de resiliencia cercano a 25%, indicando falta de políticas para la gestión de RSU generados por amenazas naturales. Una de las ventajas destacadas de este modelo es que puede ser replicado para otra amenaza y territorio.

Palabras clave: resiliencia; desastres; residuos sólidos urbanos; huracanes; indicadores; Quintana Roo.

ABSTRACT

Hurricanes pose greatest hazard to coastal communities. They can turn entire cities into rubble and leave their streets littered with trash, dead animals, and toxic waste. The main objective was to determine the degree of resilience in the management of Urban Solid

Recibido: 20 de agosto de 2020 Aceptado: 6 de septiembre de 2021

*Centro de Información Geográfica, División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Quintana Roo campus Chetumal. Boulevard Bahía S/N esq. Ignacio Comonfort, Col. Del Bosque, C. P. 77019, Chetumal, Quintana Roo, México. Correo electrónico: malu@uqroo.edu.mx; randy.mmt18@gmail.com; lmontejo@uqroo.edu.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7699-9418>; <https://orcid.org/0000-0001-5702-6584>; <https://orcid.org/0000-0001-8841-7289>

✉Autor para correspondencia

Waste (MSW) of the coastal city of Tulum, Quintana Roo, Mexico, after the impact of a hurricane. In this sense, the resilience approach focuses on the institutional response capacity for the continuity of operations during an emergency situation. A model defined by components and indicators for natural hazard, vulnerability in institutional management and response capacity was built. The result reveals a low degree of resilience, close to 25%, indicating a lack of policies for the management of MSW generated by natural hazards. One of the outstanding advantages of this model is that it can be replicated for another threat and another territory.

Keywords: resilience; disasters; urban solid waste; hurricanes; index; Quintana Roo.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el impacto que han provocado los fenómenos hidrometeorológicos en México y el mundo ha sido alarmante. Los huracanes afectan principalmente a las ciudades costeras, provocan grandes pérdidas económicas en infraestructura y medios de vida (Hernández, Carreño, & Castillo, 2018). Las pérdidas causadas ponen a la vista la combinación de las fragilidades ambientales con la combinación de las vulnerabilidades sociales, económicas, institucionales, culturales, entre muchas más (Hernández et al., 2018; Hernández-Aguilar & Castillo-Villanueva, 2012; Hernández Aguilar, Frausto Martínez, & López Montejo, 2021). Ante un posible desastre producido por el impacto de un huracán uno de los servicios de saneamiento más afectado y, por lo general, no atendido con la prioridad debida, es el sistema de manejo y recolección de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Este servicio puede verse interrumpido y provocar la acumulación de escombros de edificios, árboles y otro tipo de basura, como animales muertos.

Por lo general las autoridades recurren a soluciones rápidas para deshacerse de ellos; sin embargo, éstos pueden ser susceptibles a ser valorizados o requieren sujetarse a tratamientos o disposición final diferente (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012). Si se aborda el problema de la saturación e interrupción de los servicios de recolección de RSU en caso de desastre por huracán desde un pensamiento sistémico, como un sistema socio-ecológico complejo y adaptativo, se podría conocer la capacidad del sistema para volver a un estado de equilibrio después de una perturbación temporal (Castillo-Villanueva & Velázquez-Torres, 2015; Costache, 2017; Hernández Aguilar & Frausto Martínez, 2019; Holling, 1973; 2001).

Actualmente las teorías de los sistemas socio-ecológicos resilientes incorporan mecanismos que permiten la continuidad y la subsistencia, éstos aprenden de los cambios y choques inesperados (Baho et al., 2017; Costache, 2017). Incorporar esta perspectiva a la gestión de desastres permite diseñar sistemas de gobernanza multinivel que pueden mejorar esta capacidad de respuesta y adaptación. Desde una perspectiva resiliente, de acuerdo con Hernández Aguilar y Frausto Martínez (2019) se deben reconocer dos características que deben ser controladas al presentarse una amenaza: la continuidad de operaciones (mantenimiento de las funciones urbanas) y la flexibilidad en los procesos (adaptación y respuesta).

A partir de la última década se ha prestado una atención significativa al desarrollo de herramientas que intentan medir la vulnerabilidad, el riesgo o la resiliencia de las comunidades ante los desastres. Se ha prestado especial atención al desarrollo de índices compuestos para cuantificar estos conceptos reflejando su despliegue en otros campos, como el desarrollo sostenible (Baho et al., 2017; Beccari, 2016; Castillo Villanueva, Velázquez Torres, Chávez Alvarado, & Camacho Sanabria, 2018; Costache, 2017; Cutter, Boruff, & Shirley, 2003; Hernández et al., 2018; Martínez Torres, 2018). Con base en lo anterior, el trabajo que se presenta tiene como objetivo principal determinar el grado de resiliencia en el manejo de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de la ciudad costera de Tulum, Quintana Roo, México tras el impacto de los huracanes. El Índice de Resiliencia Urbana Costera para el manejo de RSU es el principal resultado, que tiene como antecedentes principales el Índice de Riesgo por Huracán de Hernández et al. (2018), el Proyecto Resiliencia en ciudades costeras del Caribe Mexicano ante desastre por huracanes: Chetumal, Tulum y Playa del Carmen (Castillo Villanueva et al., 2018) y la tesis de licenciatura de Martínez (2018).

La ciudad de Tulum, Quintana Roo, México se presentó como estudio de caso, ya que muestra alta vulnerabilidad al paso de huracanes por localización geográfica y por ser una ciudad turística costera con crecimiento poblacional descontrolado, lo que incide en las limitaciones del gobierno local para dotar de acceso de servicios públicos a toda su población; entre ellos, la recolecta de basura y el servicio de agua (Martínez Torres, 2018).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La ciudad costera de Tulum es la culminación y extremo sur del Corredor Turístico Cancún-Tulum conocido como la Riviera Maya en el Estado de Quintana Roo, al sureste de México y una población de 22,923 habitantes a 2020 de acuerdo con las proyecciones del Consejo Estatal de Población (COESPO). El municipio de Tulum tiene una extensión territorial de aproximadamente 2,040.94 km² y ocupa 4.9% de la superficie del estado (figura 1). Colinda al Norte con el municipio Solidaridad; al Este con el municipio de Cozumel y el Mar Caribe; al Sur con el municipio de Felipe Carrillo Puerto y al extremo Oeste limita con el municipio de Lázaro Cárdenas, parte de Felipe Carrillo Puerto y el estado de Yucatán.

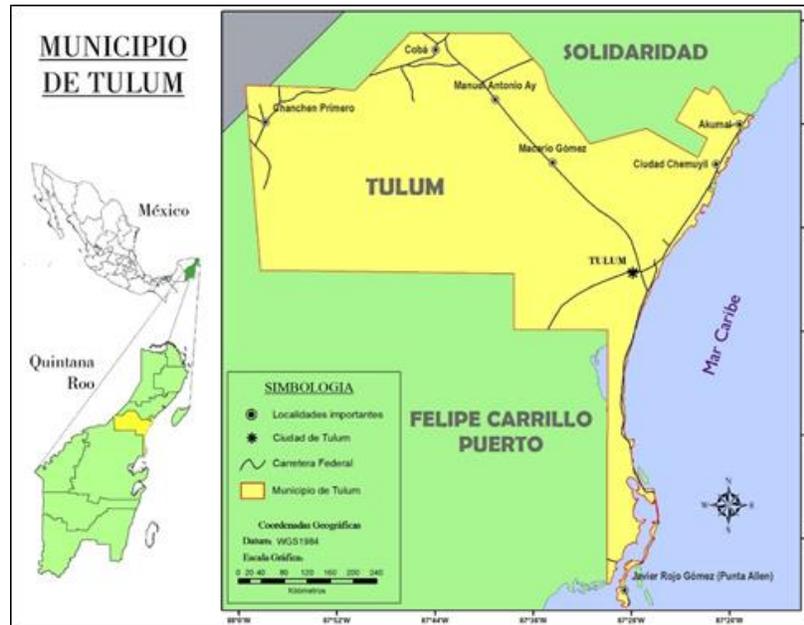


Figura 1. Localización de la ciudad de Tulum en el contexto nacional.
Elaboración propia.

Aspectos conceptuales

Amenaza. La amenaza natural en este trabajo son los huracanes, los cuales el Centro Nacional de Prevención de Desastres (2001) ubica dentro de la clasificación de riesgos hidrometeorológicos y los define como un fenómeno natural capaz de modificar el paisaje teniendo como agente perturbador principal el agua. Esta variable, *Amenaza de Huracán (A_H)*, se compone de indicadores para cada uno de sus cuatro elementos físicos asociados a los ciclones tropicales: viento, oleaje, marea de tormenta y lluvia.

Vulnerabilidad. La recolecta y el manejo de los RSU en situaciones normales para la mayoría de los municipios en México no es tan eficiente como se desea. El impacto de una amenaza natural puede afectar de mayor manera a un sistema que ni siquiera antes era satisfactorio. Como ejemplo se puede señalar que en agosto de 2021 el huracán Grace, categoría 1 con vientos de 130 km/h tocó tierra en la ciudad costera de Tulum causando daños menores, pero produciendo grandes cantidades de basura (figura 2).



Figura 2. Desechos generados al paso del huracán Grace 2021, Tulum, Quintana Roo. Fotografía del equipo de investigación.

Cutter et al. (2003) señalan que la definición amplia de vulnerabilidad infiere un potencial de pérdida; sin embargo, desde la perspectiva de una ciudad costera como sistema socio-ecológico se define a la variable *vulnerabilidad* como la susceptibilidad de que existan efectos adversos en la capacidad de regresar a su estado inicial (Baho et al., 2017; Castillo-Villanueva & Velázquez-Torres, 2015; Holling, 1973; 2001). En este sentido el gobierno municipal de la ciudad de Tulum se ve rebasado en el sistema de recolección; tanto en la generación de RSU como en el acopio. Por esto, tras el impacto directo de un fenómeno hidrometeorológico se observa un incremento de RSU y se reduce, en términos efectivos, la capacidad del sistema de recolección y tratamiento; no obstante que los servicios públicos municipales realizan acciones preventivas al inicio de la temporada de huracanes, como poda de árboles, desazolve del sistema pluvial y brigadas de limpieza (figura 3).

De acuerdo con los datos obtenidos de la Dirección de Servicios Públicos Municipales del H. Ayuntamiento de Tulum (s. f.), durante el año 2014 se recolectaron alrededor de 22,636.50 m³ de RSU en la ciudad de Tulum, con un promedio diario de 62 m³; mientras que para 2015 aumentó a 25,606.50 m³ de RSU colectados, promediando 70.1 m³ diarios. De acuerdo con INECC-SEMARNAT (2012), el peso volumétrico promedio de los RSU es de 150 kg/m³; siendo así que la generación diaria en la ciudad de Tulum fue de 10 t. Esta variable, *Vulnerabilidad de RSU (V_{RSU})*, se encuentra referida en este trabajo como la vulnerabilidad en la "Generación de RSU", compuesta por cinco indicadores: 1) generación de RSU; 2) residuos sólidos per cápita; 3) falta de cobertura de recolección; 4) disposición final de los RSU; y 5) eficiencia de los camiones recolectores.

Resiliencia como capacidad de respuesta. El incremento del riesgo de desastre a nivel mundial, donde los impactos y factores de estrés amenazan a los sistemas sociales y ecológicos en conjunto, aunado a diversas condiciones de vulnerabilidad, requiere acciones integrales que permitan gestionar los riesgos y aumentar su resiliencia. Por esta razón, una alta resiliencia socio-ecológica es sinónimo de sustentabilidad, a la vez que una escasa supone una limitada sustentabilidad para el sistema (Castillo-Villanueva & Velázquez-Torres, 2015). La resiliencia de un sistema experimenta cambios durante el ciclo de adaptación, pero preserva sus atributos esenciales para autoorganizarse después de una perturbación.



Figura 3. Acciones preventivas ante un desastre natural en la ciudad de Tulum.

Fotografías de H. Ayuntamiento de Tulum (s. f.).

Los componentes de un sistema de recolecta de RSU en condiciones normales se encuentran concatenados entre sí, desde su origen hasta su disposición final. En este sentido pueden tener muchas variaciones, pero siempre deben adaptarse a las condiciones de cada situación local; por ello y de manera muy simple el manejo de los RSU se podría dividir en tres procesos básicos: generación, recolección y disposición final. En este estudio el sistema de recolecta de RSU de la ciudad de Tulum, en su conjunto, se entiende como un sistema socio-ecológico complejo y adaptativo. Sin embargo, ante el impacto de amenazas naturales, como los huracanes, se desequilibra y necesita un proceso de respuesta y adaptación. Para el cálculo de la capacidad de respuesta en el manejo y gestión de residuos sólidos urbanos (CR_{RSU}) se consideraron cinco indicadores: 1) recuperación de RSU generados; 2) número de plantas o centros de acopio y reciclaje; 3) cobertura de recolección; 4) programa de manejo de RSU ante desastres; y 5) eficiencia del servicio de recolecta.

La metodología aquí presentada es el resultado; en primer lugar, de un proceso estadístico a partir de las ecuaciones ya establecidas, que emplean los conceptos de riesgo, amenaza, vulnerabilidad y capacidad de respuesta en Cardona (1993), Henao Salazar (2013) y Office of the United Nations Disaster Relief Coordinators (1980) para la integración del índice que evalúe el manejo y gestión de los RSU (figura 4). En segundo lugar se utilizó la configuración del modelo conceptual desarrollado por Hernández et al. (2018) para construir el sistema de indicadores de resiliencia en el manejo de RSU ante la amenaza de huracán, de acuerdo con las variables establecidas (figura 5).

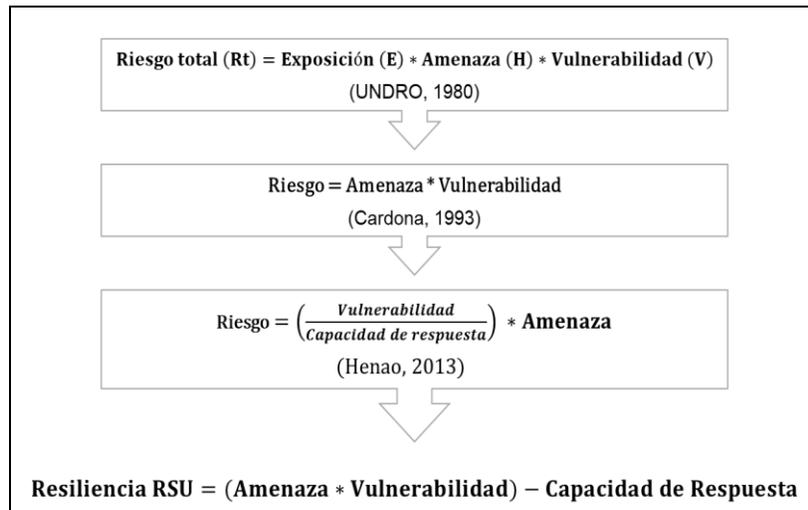


Figura 4. Proceso metodológico para la obtención de la ecuación final.
Elaboración propia.

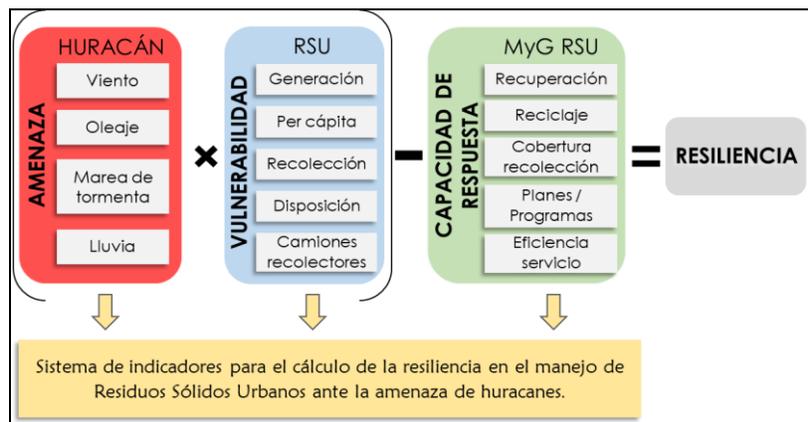


Figura 5. Modelo conceptual.
Imagen de Randy Mauricio Martínez-Torres (2018).

RESULTADOS

Para el cálculo de la primera variable de la ecuación (figura 4), la *amenaza de huracán* (A_H), los datos fueron adquiridos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en Hernández Hunzón y Cirilo Bravo (2005), año en que el huracán Emily tocó tierra al norte de la ciudad de Tulum, con categoría 4 en la escala Saffir-Simpson. Los componentes con sus respectivos indicadores definidos para esta primera variable se detallan en la tabla 1, compuesta por 10 columnas: la primera para la componente, la segunda para el peso de la componente, la tercera para el nombre del indicador y la cuarta para el peso; asignados de acuerdo con la importancia y daño que causan los factores que traen consigo los huracanes, tomando en consideración que la suma de los pesos dentro de cada componente debe sumar 1. Las otras dos columnas indican el valor mínimo y máximo que puede obtener el indicador. Para definir estos valores se utilizaron datos oficiales o históricos de eventos; en este caso para el valor máximo se tomaron como referencia los datos meteorológicos alcanzados por el huracán Dean, que afectó el estado de Quintana Roo en 2007. En último lugar, el valor de la variable A_H se obtiene mediante la suma ponderada de los componentes, que a su vez se obtienen de la suma ponderada de los indicadores estandarizados (tabla 1).

Tabla 1
Amenaza (A_H): componentes e indicadores para el huracán Emily (2005)

Componente (C)	Peso (C)	Indicador	Peso (P)	Valor mínimo	Valor máximo	Dato E (Emily)	Valor estandarizado (X)	Valor del indicador (P * X)	Valor de la (C)
Viento	0.35	Categoría huracán	0.5	1	5	4	0.75	0.38	0.24
		Velocidad del viento	0.3	100	300	215	0.58	0.17	
		Presión central	0.2	800	1,050	955	0.62	0.12	
Oleaje	0.1	Amplitud	0.5	0	30	2	0.07	0.03	0.01
		Altura	0.5	0	25	3	0.12	0.06	
Marea de tormenta	0.25	Marea de tormenta	1	0.5	20	1.5	0.05	0.05	0.01
Lluvia	0.3	Intensidad	0.3	1	5	2	0.25	0.08	0.14
		Duración	0.3	0	24	24	1.00	0.30	
		Altura o profundidad	0.3	1	500	124.5	0.25	0.07	
		Frecuencia	0.1	5	500	155	0.30	0.03	
								$A_H =$	0.40

Nota: Elaboración propia con base en datos obtenidos de CONAGUA en Hernández Hunzón y Cirilo Bravo (2005).

De la misma manera, la construcción y definición de la componente "Generación, recolección y disposición RSU" y los cinco indicadores que integran la variable *Vulnerabilidad de RSU* (V_{RSU}), expuestos en la tabla 2, caracterizan datos recabados de fuentes primarias y secundarias; entre ellas de la Dirección General de Servicios Públicos Municipales del H. Ayuntamiento de Tulum (s. f.); así como de datos abiertos de los *Indicadores básicos del desempeño ambiental - Residuos Sólidos* de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (2017), en conjunto con algunos resultados obtenidos por Hernández et al. (2018). Para establecer los valores máximos y mínimos que

puede alcanzar esta variable al impacto de un huracán se tomaron como punto de referencia datos de recolección de RSU de Playa del Carmen, Quintana Roo, al presentar características similares a las de la zona de estudio, al ser una ciudad costera con gran crecimiento poblacional por migración e importante actividad turística, además de estar fuertemente amenazada por los huracanes.

La V_{RSU} se calcula a partir de la suma de sus indicadores multiplicados por el peso asignado para el único componente que la integra (tabla 2). Los valores obtenidos fueron estandarizados de 0 a 100 en caso de la *vulnerabilidad* (V_{RSU}) y la *capacidad de respuesta* (CR_{RSU}), con el fin de garantizar la comparabilidad de los datos. Cabe señalar que el peso dado para los indicadores definidos para cada una de las variables que componen el índice propuesto (tablas 1, 2 y 3) se originaron de manera subjetiva a partir de conocimientos empíricos, fuentes primarias y secundarias. Sin embargo, se recomienda que sean pesos objetivos, derivados de consultas o talleres participativos entre sociedad y gobierno.

Tabla 2
 Cálculo de la variable V_{RSU}

Componente	Indicador	Peso	Valor mínimo	Valor máximo	Dato (Tulum)	Valor estandarizado (X)	Valor del indicador (P * X)
Generación, recolección y disposición RSU	Generación de residuos sólidos urbanos	0.3	5	450	70	14.61	4.38
	Residuos sólidos per cápita	0.2	0	5	3.11	62.20	12.44
	Falta de cobertura de recolección	0.1	0	100	15	15.00	1.50
	Disposición final de los RSU	0.2	1	3	1	100	20.00
	Eficiencia de los camiones recolectores	0.2	0	100	87.5	12.50	2.50
						$V_{RSU} =$	40.82

Nota: Elaboración propia.

Por otra parte, la variable *Capacidad de Respuesta* (CR_{RSU}) también se presenta a través de un solo componente y cinco indicadores (tabla 3), que buscan evaluar las estrategias y manejo que emplean las autoridades correspondientes para poder continuar, resistir y recuperarse de los daños causados por fenómenos naturales como los huracanes (tabla 3), para cuya obtención se sigue el mismo procedimiento de las variables anteriores.

Tabla 3
 Cálculo de la variable CR_{RSU}

Componente	Indicador	Peso	Valor mínimo	Valor máximo	Dato (Tulum)	Valor estandarizado (X)	Valor del indicador (P * X)
Manejo y gestión de RSU	Recuperación de RSU generados	0.3	0	70	8	11.43	3.43
	Número de plantas o centros de acopio y reciclaje	0.1	0	6	1	16.67	1.67
	Cobertura de recolección	0.1	0	100	85	85.00	8.5
	Programa de manejo de RSU ante desastres	0.3	1	2	1	0.00	0.00
	Eficiencia del servicio de recolecta	0.2	0	3	2	66.67	13.33
						$CR_{RSU} =$	26.93

Nota: Elaboración propia.

Una vez obtenidos los resultados de las variables A_H , V_{RSU} y CR_{RSU} para la ciudad de Tulum (tablas 1, 2 y 3) se procedió a calcular el *Índice de Resiliencia Urbana Costera para el Manejo de Residuos Sólidos Urbanos* (IR_{MRSU}) sustituyendo los valores en la ecuación. Cabe mencionar que para el valor obtenido de A_H se determinó manejar un factor de impacto $(1 + A_H)$ como un coeficiente de potencialización de la amenaza (Hernández et al., 2018).

$$IR_{MRSU} = [(1 + A_H)] * (V_{RSU}) - CR_{RSU}$$

$$IR_{MRSU} = [(1 + 0.40) * (40.82)] - 26.93$$

$$IR_{MRSU} = 30.22\%$$

Para entender mejor el resultado, la V_{RSU} toma sus valores de las 70 t diarias de RSU que se generan en la ciudad de Tulum. Se generan por habitante 3.11 kg/día y su disposición final es tiradero a cielo abierto (H. Ayuntamiento de Tulum, s. f.). Los servicios de restaurantes, hoteles y actividades asociados al turismo favorecen que sus pobladores y visitantes consuman productos fácilmente desechables y no amigables al ambiente, lo que genera cantidades de basura difíciles de tratar en el sitio de disposición final adecuado. Por otra parte, la gestión y manejo de RSU evaluada por la variable CR_{RSU} toma su valor por el escaso número de centros de reciclaje y la disposición de solamente dos camiones recolectores que permiten cubrir únicamente 85% de la ciudad; porcentaje que va disminuyendo por el crecimiento de la población en asentamientos irregulares que

no favorecen al sistema de recolecta de RSU de la ciudad de Tulum. Con la finalidad de representar los resultados por niveles de resiliencia el índice se clasifica en cinco rangos de valores porcentuales (figura 6). Esta forma de representar los resultados puede contribuir a la creación de un sistema de alerta o monitoreo para el manejo de los RSU ante la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos que identifique de mejor manera el grado de resiliencia (Hernández Aguilar & López Montejo, 2020).

Resiliencia para el manejo de RSU	
Grado	%
Muy Alto	80 - 100
Alto	60 - 80
Medio	40 - 60
Bajo	20 - 40
Muy bajo	0 - 20

Figura 6. Clasificación del grado de resiliencia. Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran que la variable *Vulnerabilidad* (V_{RSU}) obtuvo un valor de 40.82%, el cual refleja una alta vulnerabilidad en cuanto a la generación, recolección y disposición de los RSU; que corresponde principalmente con las grandes cantidades de basura que se generan en una ciudad pequeña, cuya actividad económica predominante es el turismo; además de que no cuenta con un tratamiento óptimo ni un sitio de disposición final adecuado. Por su parte, el resultado de la *Capacidad de Respuesta* (CR_{RSU}) fue de 26.93%; lo que señala las deficiencias en las estrategias locales para el manejo y gestión de los RSU, debido a que no se tiene un plan de manejo de residuos ante desastres por huracanes, por ejemplo.

Sin embargo, cuentan con un centro de acopio y reciclaje, aunque solamente se recupera menos de 10% del total de los RSU generados. El grado de resiliencia obtenido, cercano a 25%, exhibe bajo nivel en la capacidad de respuesta para Tulum en un día normal y ante desastres (figura 6). De acuerdo con Costache (2017) y Hernández et al. (2018), la evaluación de la vulnerabilidad tiende a destacar aquellos sistemas o componentes de sistemas que se ven muy afectados por perturbaciones; mientras que la evaluación de la resiliencia se centra en las características de los sistemas que los hacen más robustos en el contexto de una perturbación. Estos mismos autores señalan que los indicadores como herramientas de gestión son imprescindibles como un medio para medir lo actual frente a lo que se ha planificado o lo que se espera lograr.

Para poder lograr una ciudad más resiliente en materia de manejo de RSU será necesario reforzar la infraestructura del servicio, la implementación y cumplimiento de leyes y reglamentos asociados; así como capacitar a los tomadores de decisión y a la población en general. La aplicación de esta metodología no es limitativa para la amenaza de huracán, una de sus ventajas es poder ser utilizada para otro tipo de amenaza y en otros contextos geográficos. Entre las desventajas se puede mencionar la falta de disponibilidad de datos por parte de los gobiernos locales y que éstos coincidan con el año del fenómeno natural. Otra limitante fundamental fue la relacionada con la asignación de pesos, ya que estos fueron ajustados subjetivamente. Se recomienda, para el punto anterior y para validar el sistema, convocar a talleres participativos con actores clave involucrados y sociedad.

CONCLUSIONES

Este estudio muestra cómo una evaluación conjunta del riesgo, la exposición y la vulnerabilidad social proporciona datos valiosos para la evaluación de estrategias de resiliencia, desde un enfoque y una metodología integral y holística, mediante conceptos y líneas de acción desde el contexto global hasta lo local. Se debe tener en cuenta que Tulum como ciudad costera tiene un crecimiento poblacional acelerado por su actividad principal, el turismo; por lo que dejar de lado el manejo adecuado de los RSU puede conllevar a la contaminación de los acuíferos y áreas naturales protegidas con que cuenta, sobre todo ante un desastre natural.

Se seleccionaron ciertos indicadores de vulnerabilidad y capacidad de adaptación con el propósito de describir en primeros pasos la gestión y manejo de los RSU ante la amenaza del impacto de huracanes; pero el desarrollo de otros indicadores complementarios podría profundizar y arrojar resultados más detallados, igual que una correlación entre ellos. Se comprueba la hipótesis de que la ciudad cuenta con mínima resiliencia en el manejo de RSU ante un huracán. La correlación entre el año de impacto de un huracán con el dato de recolecta de RSU para el mismo año pueden suponer futuros trabajos de investigación. Finalmente, un proceso de mejora continua en la capacidad de un sistema para lograr los objetivos deseados debe considerar cómo hacer frente a las perturbaciones y utilizar el concepto de resiliencia como complemento de la sostenibilidad.

REFERENCIAS

- Baho, D. L., Allen, C. R., Garmestani, A., Fried-Petersen, H., Renes, S. E., Gunderson, L., & Angeler, D. G. (2017). A quantitative framework for assessing ecological resilience. *Ecology and Society*, 22(3), 1-17. doi: 10.5751/ES-09427-220317
- Beccari, B. (2016). A comparative analysis of disaster risk, vulnerability and resilience composite indicators. *PLOS Currents Disasters*. doi: 10.1371/currents.dis.19f9c194f3e3724d9ffa285b157c6ee3.
- Cardona A., O. D. (1993). Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. En A. Maskrey (Comp.), *Los desastres no son naturales* (pp. 51-74). Bogotá, Colombia:

- Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Recuperado de <http://www.funsepa.net/soluciones/pubs/MTQ5.pdf>
- Castillo-Villanueva, L., & Velázquez-Torres, D. (2015). Sistemas complejos adaptativos, sistemas socio-ecológicos y resiliencia. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 17(2), 11-32.
 - Castillo Villanueva, L. M., Velázquez Torres, D., Chávez Alvarado, R., & Camacho Sanabria, J. M. (2018). *Resiliencia en ciudades costeras del caribe mexicano ante desastre por huracanes*. Chetumal, México: Universidad de Quintana Roo.
 - Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2001). *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México* [Archivo pdf descargable]. Ciudad de México, México: Autor. Recuperado de: <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/36-DIAGNOSTICODEPELIGROSEIDENTIFICACINDERIESGOSDEDESASTRESENMEXICO.PDF>
 - Costache, A. (2017). Conceptual delimitations between resilience, vulnerability and adaptive capacity to extreme events and global change. *Annals of Valahia University of Targoviste. Geographical Series*, 17(2), 198-205. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/321015642_Conceptual_Delimitations_Between_Resilience_Vulnerability_and_Adaptive_Capacity_to_Extreme_Events_and_Global_Change#read
 - Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2), 242-261. doi: 10.1111/1540-6237.8402002
 - H. Ayuntamiento de Tulum. (s. f.). [Comunicación personal de la Dirección General de Servicios Públicos Municipales].
 - Henao Salazar, A., (2013). Propuesta metodológica de medición de la resiliencia agroecológica en sistemas socio-ecológicos: Un estudio de caso en los Andes colombianos. *Agroecología*, 8(1), 85-91. Recuperado de <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/183031/152501>
 - Hernández, M. L., Carreño, M. L., & Castillo, L. (2018). Methodologies and tools of risk management: Hurricane risk index (HRI). *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, 926-937. doi: 10.1016/j.ijdr.2018.08.006
 - Hernández-Aguilar, M. L., & Castillo-Villanueva, L. (2012). Capacidad institucional ante la reducción del riesgo de desastres en Quintana Roo: Marco de Acción de Hyogo. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 14(2), 23-48. Recuperado de <https://quivera.uaemex.mx/article/view/9624>
 - Hernández Aguilar, M. L., & Frausto Martínez, O. (2019). Resiliencia urbano-costera frente al cambio climático desde el enfoque socio-ecológico: El caso de Tulum, Q. Roo. En M. L. Castillo Villanueva, D. Velázquez Torres, R. Chávez Alvarado, & J. M. Camacho Sanabria (Coords.), *Resiliencia en ciudades costeras del Caribe Mexicano ante desastres por huracanes* (pp. 205-225). Chetumal, México: Universidad de Quintana Roo.
 - Hernández Aguilar, M. L., & López Montejo, G. D. (2020). Atlas de riesgos como instrumentos de sistemas de alertas tempranas. En O. Frausto Martínez, J. C. Morales Hernández, & C. D. Aguilar Becerra (Coords.), *Sistema de alerta temprana ante fenómenos hidrometeorológicos extremos en México* (pp. 87-105). Ciudad de México, México: UAGRO-REDESLIM-CONACYT.
 - Hernández Aguilar, M. L., Frausto Martínez, O., & López Montejo, G. D. (2021). Capítulo II. Desafíos de los sistemas locales de la gestión integral del riesgo de desastre, sistemas socioecológicos y cambio climático. En J. C. Morales Hernández, E. González Sosa, C. M. Welsh Rodríguez, & O. Frausto Martínez (Coords.), *Gestión de desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos en sistemas socio-ecológicos* (pp. 39-71). Ciudad de México, México: CLAVE.

- Hernández Hunzón, A., & Cirilo Bravo, M. G. (2005). *Resumen del huracán "Emily" del Océano Atlántico* [Documento en pdf]. México: Comisión Nacional del Agua.
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1-23. doi: 10.1146/annurev.es.04.110173.000245
- _____ (2001). Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems*, 4, 390-405. doi: 10.1007/s10021-001-0101-5
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012). *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos* [Archivo pdf descargable]. México: Autor. Recuperado de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/Documentos/Ciga/libros2009/CD001408.pdf>
- Martínez Torres, R. M. (2018). *Manejo de residuos sólidos urbanos ante desastres por huracanes: una contribución a la resiliencia urbana-costera en la ciudad de Tulum, Quintana Roo* (Tesis de licenciatura). Recuperada de <http://risisbi.uqroo.mx/bitstream/handle/20.500.12249/1928/TD791.2018-1928.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. (2017). *Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental-Residuos sólidos* [Base de datos]. México: SEMARNAT. Recuperado de <https://datos.gob.mx/busca/dataset/indicadores-basicos-del-desempeno-ambiental-residuos-solidos>
- Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator. (1980). *Natural disasters and vulnerability analysis: Report of expert group meeting (9-12 July 1979)* [Documento en pdf]. Recuperado de https://digitallibrary.un.org/record/95986/files/UNDRO_ExpGrp_1-EN.pdf



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licencianta no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licencianta.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.