

EVALUACIÓN POTENCIAL DE PELIGRO POR CICLONES TROPICALES EN VERACRUZ; UN MODELO EMPIRICO.

Carlos Manuel WELSH RODRIGUEZ¹, Christian DOMINGUEZ SARMIENTO^{1*},
Carolina Andrea OCHOA MARTINEZ¹, Selene Janitzio PEREZ CORBOVA³ y
Ana Cecilia TRAVIESO BELLO²

¹*Centro de Ciencias de la Tierra (CCT). Universidad Veracruzana.*

^{1*}*Investigador Visitante del CCT, Universidad Veracruzana.*

²*Facultad de Economía. Universidad Veracruzana.*

³*Maestría en Economía Ambiental y Ecológica. Universidad Veracruzana.*

**vcwelsh@uv.mx , dosach87@gmail.com , caochoa@uv.mx
janitzi1@hotmail.com , atravieso@uv.mx**

RESUMEN

En los últimos 30 años se ha observado un incremento en la frecuencia e intensidad de ciclones tropicales que han impactado el estado de Veracruz, ubicado en la parte central del Golfo de México. La presencia de estos fenómenos tiene efectos sobre la precipitación, en particular se conoce que los factores como la cercanía a la línea de costa, el tamaño del ciclón, el efecto de planicie-montaña y tipo de trayectoria, tienen un peso diferenciado sobre los desastres asociados.

En el presente trabajo se realiza una evaluación empírica sobre cinco fenómenos que impactaron al estado de Veracruz, 1) GERT en 1993 con categoría de impacto 2, 2) STAN en 2005 con categoría 1, 3) DEAN en 2007 categoría 2, 4) KARL de categoría 3 en 2010 y 5) Franklin en 2017 de categoría 1. De dicha evaluación se identificó la necesidad de mejorar la aplicación de modelos en escalas donde los factores geográficos inciden con el peligro potencial y se generan recomendaciones en donde es posible observar que, a pesar del error en la simulación, los factores antes mencionados exacerban el potencial de peligro.

Palabras clave: Peligro, ciclones tropicales, vulnerabilidad, evaluación.

ABSTRACT

An increase in the frequency and intensity of the tropical cyclones (TCs) that made landfall in the state of Veracruz, which is located in the central region of the Gulf of Mexico, has been observed since the last 30 years. These phenomena affect the regional precipitation and geographical factors -such as: closeness to a coastline, TC size, topography (plains and mountains) and kind of trajectory- have a different impact in causing disasters.

This study carries out an empirical assessment of five TCs that made landfall in Veracruz: 1) Gert, 1993 category 2 at the time of making landfall, 2) Stan, 2005 category 1 at the moment when affected Veracruz, 3) Dean, 2007 category 2, 4) Karl, 2010 category 3 and 5) Franklin, 2017 category 1 at the time of making landfall. From this evaluation, a need for improving the application of models in different scales, whose formulation should consider geographical factors as elements that influence the

strength of hazards, was identified. Our recommendations point out that the aforementioned factors exacerbate hazards.

Key words: Hazard, tropical cyclones, vulnerability, assessment.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo desarrolla como hipótesis la función peligro sobre una geografía compleja, en particular por los impactos de los ciclones tropicales (CTs) que de acuerdo al IPCC y Domínguez y Magaña (2018) han incrementado su frecuencia, lo cual tendrá impactos cada vez mayores en sitios costeros sobre todo en aquellos donde existe una historia asociada a estos fenómenos, dejando tras su paso una huella económica cada vez mayor con efectos en la sociedad igualmente altos. En primer lugar se describe el clima de Veracruz, después se muestra un experimento de modelado que contribuye a la aplicación de un modelo empírico que arroja resultados para discutir en el futuro. Este forma parte de una serie de trabajos sobre los efectos del cambio global en la zona costera del Golfo de México.

1.1. El Golfo de México desde una visión del clima

Los reportes internacionales distinguen impactos sobre la climatología del Golfo de México y el Caribe, señalando efectos directos de CTs cada vez más frecuentes y sólo algunos se atreven a realizar la hipótesis que sean también más intensos.

Para el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por su siglas en inglés) hace 10 años presentaba como una probabilidad alta la presencia de un ciclo hidrológico más intenso, dado un incremento potencial de la temperatura del océano, lo que incidiría sobre la génesis de ciclones tropicales (IPCC, 2007), y como consecuencia secundaria un acelerado ascenso en el nivel medio del mar (40 a 45 cm para el año 2100).

Los efectos directos de CTs y elevación del nivel medio del mar tienen un significativo efecto sobre la región central del Golfo de México donde la existencia de ecosistemas, tales como: pantanos, humedales y manglares, participan activamente ante la presencia de Cts. Sin embargo, los efectos de un crecimiento urbano costero y la existencia de la sierra madre oriental inciden en los períodos de recuperación de fenómenos hidrometeorológicos provocando daños permanentes que les condenan (Day et al., 2008).

De la figura 1 es posible observar algunos detalles relevantes, en primer lugar que se duplicó el número de eventos en casi 70 años, por otro los únicos que permanecen constante son los huracanes nivel 3, mientras que las tormentas tropicales se incrementan de manera exponencial. Finalmente se duplican la presencia de aquellos que resultan ser los más intensos (categoría 4 y 5). Este incremento, sin lugar a dudas, tiene que ser un precedente a considerar sobre la base de la situación económica y social del estado de Veracruz, con 6 zonas metropolitanas, 4 de ellas en zonas costeras, y poco más de 8 millones de habitantes.

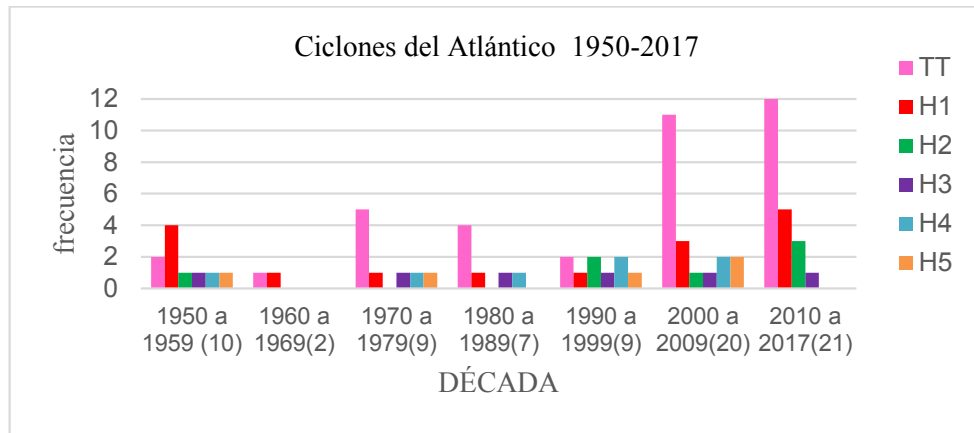


Fig. 1: Frecuencia de ciclones tropicales por década y categoría. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (<https://smn.cna.gob.mx/es/ciclones-tropicales>; consultado 14abril2018). TT corresponde a tormenta tropical, H es huracán y el numeral corresponde a su intensidad en clasificación Saffir-simpson.

1.2. Impactos sobre Veracruz

Veracruz es una angosta franja de tierra ligeramente curvada cuya extensión abarca desde el Noreste al Sureste del País, sobre la costa del Golfo de México, colindando al Norte con Tamaulipas, al este con Tabasco y Chiapas, al Sur con Chiapas y Oaxaca y al Oeste con Hidalgo, Puebla y San Luis Potosí. Representa el 3.7% de la superficie total de México, con una superficie de 71, 820.4 Km², con una franja costera de 684 Km. Por último, el estado ocupa el tercer lugar a nivel nacional respecto al tamaño de su población con cerca de 8 millones de habitantes (INEGI, 2012).

El clima del estado de Veracruz es extraordinariamente diverso. Las condiciones climáticas para el estado de Veracruz van desde el cálido húmedo en el sur hasta el cálido semi-seco en el norte y en el centro del estado pasando por las condiciones templadas y frías de la montaña. El mar, tan cercano a cualquier parte del estado, beneficia con su efecto regulador de la temperatura y aporta suficiente humedad y precipitación; propicia a veces las condiciones ideales para el desarrollo de las múltiples actividades de los veracruzanos y en otras, factores de riesgo. Es decir, el estado de Veracruz presenta características climáticas tan interesantes, como complejas (Ruiz Barradas et. al., 2010).

Las costas –bajas, arenosas, con extensos humedales adyacentes, a menos de un metro sobre el nivel del mar– representan la fracción del territorio veracruzano más vulnerable al ascenso del nivel del mar, lo cual afectará poblados y ecosistemas, además de la infiltración de agua salina hasta los mantos freáticos. (Guadarrama y Welsh, 2017).



Fig.2: Ubicación del Estado de Veracruz, México. Fuente: Elaboración propia
 Para el caso específico de Veracruz la incidencia de huracanes y tormentas tropicales ha aumentado su frecuencia en los últimos años: en 2000 fue el huracán *Keith* con categoría 4; en 2005 fue *Emily* con categoría 4, y *Stan* con categoría 1 a tan sólo dos meses del paso de Emily; en 2007 fue *Dean* con categoría 5 y *Lorenzo* con categoría 1; en 2008 se presentó la tormenta tropical *Marco*; mientras que en el 2010 se sufrió la presencia del huracán *Karl* con categoría 3 e, inmediatamente después, la tormenta tropical *Matthew*. En 2017, Franklin afectó Veracruz siendo un huracán de categoría 1.



Fig.3: Huracanes que han impactado en el estado de Veracruz obtenido de <https://www.coast.noaa.gov/hurricanes/>

1.3. Ciclogénesis de los ciclones tropicales que han afectado a Veracruz

Los CTs que se encuentran en el Océano Atlántico se pueden clasificar principalmente en cuatro tipos de trayectorias. Sin embargo, los CTs que afectan al estado de Veracruz pertenecen a dos grupos: 1) los CTs que se formaron en la Región Principal de Desarrollo (MDR, por sus siglas en inglés) y en el Mar Caribe 2) los CTs que se formaron en el Golfo de México. Por su parte, 40% de los miembros del grupo 1

alcanzan categorías intensas (cat. 3 o más intensa). Los miembros del grupo 2 describen trayectorias erráticas de corta duración que no permiten su intensificación, ya que el 50% de sus miembros son tormentas tropicales (TT) (Domínguez y Magaña, 2018). La parte norte del estado de Veracruz se encuentra mayormente afectada por trayectorias rectas que se forman en la MDR y el Mar Caribe (Fig. 4a). La región central del estado se encuentra más expuesta a CTs con categoría de TT (Fig. 4d). Finalmente, la región del sur, en comparación a las otras regiones, está más afectada por las trayectorias rectas del grupo 1 (Fig. 4e). Por ello, resulta interesante resaltar que la región norte y sur se encuentran expuestas a CTs que son de categoría intensa y la región central ha sido mayormente impactada por CTs con vientos moderados.

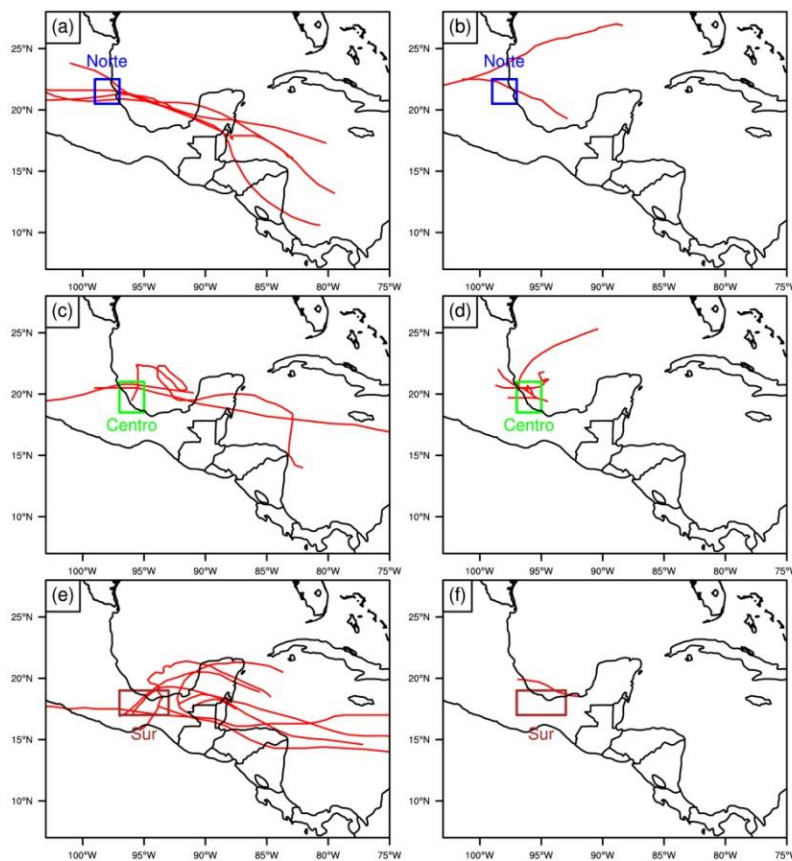


Fig. 4. Frecuencia de ciclones tropicales a) que se formaron en el Caribe y que impactaron el norte de Veracruz, b) que se formaron en el Golfo de México y que impactaron el norte de Veracruz, c) que se formaron en el Caribe y que impactaron el centro de Veracruz, d) que se formaron en el Golfo de México y que afectaron el centro de Veracruz, e) que se formaron en el Caribe y que impactaron el sur de Veracruz, f) que se formaron en el Golfo de México y que afectaron el sur de Veracruz durante el periodo 1970-2009.

Los impactos económicos a precios corrientes de 5 eventos dan una visión de lo extremadamente complicado que significa hacer frente a la recuperación ante este peligro constante.

Año	CT	Categoría	Costo (Millones de pesos Mexicanos)
2005	STAN	H1	21
2007	DEAN	H5	9,578.85
2010	KARL	H3	24,931.8
2017	FRANKLIN	H1	373.6

Tabla 1: Impacto económico de desastres. Fuente: CENAPRED 2017

1.4. Modelación climática del peligro (Modelo Climático Regional RegCM4.3)

El modelo climático regional versión 4.3 (RegCM4.3, por sus siglas en inglés) es una versión hidrostática y compresible de la quinta generación de modelo de mesoescala (MM5), y usa una malla de Arakawa tipo B. El RegCM4 requiere condiciones iniciales y de frontera, dependientes del tiempo, para las componentes del viento, temperatura, presión de superficie y vapor de agua. Además, se debe contar con un campo preliminar de TSMs (Pal et al., 2007). Adicionalmente, aun cuando no está acoplado a un modelo oceánico, tiene parametrizaciones que representan los intercambios de flujos en la superficie del océano y la atmósfera baja: BATS y Zheng (Elguindi et al., 2013).

Después de un análisis exhaustivo de la sensibilidad de las parametrizaciones físicas del RegCM4, se eligió considerar solamente las parametrizaciones de radiación NCAR, capa límite Holtslag, cúmulus bajo el esquema de MIT y las parametrizaciones de los intercambios de flujo en la superficie del océano y la atmósfera baja BATS y Zheng para realizar las simulaciones climáticas a una resolución espacial de 13 km. Estas parametrizaciones fueron elegidas porque su capacidad para simular lluvia extrema fue mejor en comparación con los demás esquemas.

El dominio utilizado en las simulaciones del modelo abarca desde las costas del Océano Pacífico del Este hasta las costas de África (Fig. 5). El RegCM4.3 fue forzado con los datos del ERA-Interim (ERA-Interim) del Centro Europeo para el Pronóstico del Tiempo de plazo Medio (ECMWF, por sus siglas en inglés) para producir las condiciones de frontera y se corrió a una resolución espacial de 13 km, usando todas las parametrizaciones anteriormente descritas.

El huracán Karl 2010 fue analizado utilizando CIs 10 días antes de su formación e integrando el modelo por un tiempo de 20 días. La combinación MIT + flujo océano-atmósfera BATS (Fig. 6b) produce un vórtice con una trayectoria similar a la observada (Fig. 6a), ya que afecta el territorio mexicano. Sin embargo, su trayectoria modelada se encuentra más al norte, tomando la latitud de 20°N como referencia (Fig. 6b; 6c). De igual manera, ambos tipos de combinaciones subestiman la lluvia acumulada causada por la trayectoria del vórtice (Fig 6b; 6c), pues es menor a 240

mm (en comparación al reanálisis ERAI) y muestran una convergencia intensa de humedad en 700 mb en las costas de Chiapas (Fig. 6b; 6c). De acuerdo a lo anterior, el modelo RegCM4 podría tener un “bias” en la región de Oaxaca y Chiapas.

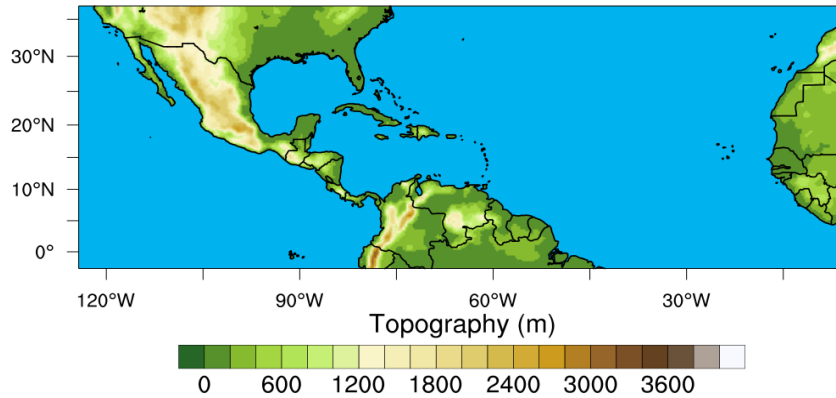


Fig. 5. Dominio y topografía del modelo RegCM4.3.

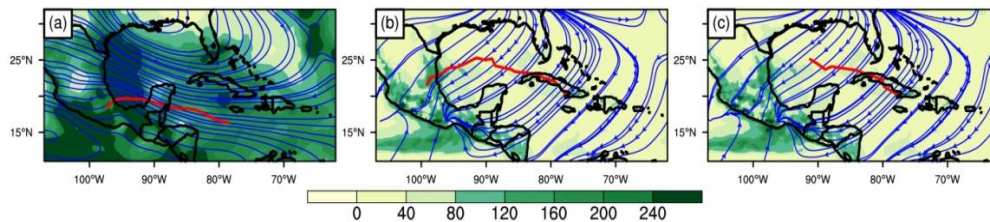


Fig. 6. Precipitación acumulada, líneas de corriente a 700 mb y la trayectoria durante el paso de Karl 2010 en (a) el ERAI, (b) la parametrización de MIT + BATS del RegCM4 y (c) la parametrización de MIT + Zheng del RegCM4. Las líneas rojas representan la trayectoria del CT.

La figura 6 señala que el RegCM4 no tiene la habilidad de simular adecuadamente los patrones de circulación en el steering level (700 mb), el cual influye en la trayectoria del CT. Aunado a esto, la mayoría de sus parametrizaciones (no mostrado) de cúmulus (Grell, Icup98, Icup99) no produjeron vórtices durante los experimentos realizados para simular la trayectoria del huracán Karl, 2010 y su lluvia acumulada se encuentra subestimada por más del 50% de su valor observado en las regiones del norte, centro y sur de Veracruz, ya que las simulaciones muestran una precipitación acumulada alrededor de 120-160 mm.

1.5. Vulnerabilidad

La coincidencia del peligro y la vulnerabilidad en el mismo espacio y tiempo determina el riesgo. Este último, según Lavell (2001), es la probabilidad de pérdidas y daños en el futuro, que incluye las físicas, psicosociales y culturales.

La vulnerabilidad se define como la susceptibilidad de grupos sociales elementos físicos y ambientales expuestos, a sufrir daños por la presencia del peligro. Por tanto,

es una medida de la debilidad o falta de resistencia de la sociedad frente a la ocurrencia de eventos potencialmente peligrosos (Cardona, 2003). El desastre es el resultado de un proceso, donde se construye el riesgo por parte de una sociedad, y que se materializa con el desencadenamiento de un peligro (Lavell, 2001).

La vulnerabilidad es un sistema dinámico, que surge de la interacción de características y factores internos y externos que convergen en una comunidad particular, incapacitando a la población para responder a un riesgo específico, lo cual conduce al desastre. La interacción de estos factores y características se denomina vulnerabilidad global y está integrada por varios tipos de vulnerabilidades estrechamente conectadas entre sí, las cuales son: natural, física, económica, social, política, técnica, ideológica, cultural, educativa, institucional y ecológica (Wilches-Chaux, 1993).

La vulnerabilidad y el riesgo son procesos de construcción social, insertos en la dinámica del desarrollo o subdesarrollo, que conducen al desastre (Narváez et al., 2009). Por tanto, la gestión del riesgo debe priorizar la atención de la vulnerabilidad con el fin de prevenir o mitigar los desastres.

En este trabajo se considera como peligro a los CTs, por lo que los territorios más expuestos de forma recurrente en la entidad veracruzana corresponden a la zona costera, principalmente durante el período de junio a noviembre. La mayor cantidad de la población y de infraestructura costera en el estado de Veracruz se concentra principalmente en zona conurbada Veracruz-Boca del Río, que alberga en conjunto 752 171 habitantes (INEGI, 2015), representando 9.3% de la población estatal, unido a la presencia de ecosistemas frágiles como los humedales y vegetación de dunas costeras. Se recomienda primero el análisis de las interacciones de las distintas vulnerabilidades que determinan la vulnerabilidad global ante CTs, para luego gestionar el riesgo de forma integral. El fin último de la gestión integral del riesgo es la previsión, reducción y control permanente de los factores de riesgo de desastre en la sociedad, integrado al logro de pautas de desarrollo humano, económico, ambiental y territorial, sostenibles (Narváez et al., 2009).

2. MÉTODOS

Los costos asociados a eventos extremos se han incrementado de manera exponencial en el mundo (Gall et al., 2011), no es necesario un debate que explique que existe una relación entre los daños con la distribución de la población, infraestructura y las actividades económicas, sobre todo cuando de acuerdo a las naciones unidas casi la mitad de la población mundial vive a menos de 150km de la costa. Algunos autores como Kossin (2017), señalan que para la cuenca atlántica habrá un incremento en la frecuencia de tormentas costeras, provocando de manera directa que las inundaciones por las mareas de tormenta sean más intensas, lo que tendrá un efecto directo en el impacto económico de los desastres.

Lavell (2001), define amenaza como "la posibilidad de la ocurrencia de un evento físico que puede causar algún tipo de daño a la sociedad", sin embargo, no todo fenómeno natural es peligroso, constituyen un peligro "por su tipo y magnitud, así por lo sorpresivo de su ocurrencia" (Romero y Maskrey, en Maskrey, 1993)

Describimos un modelo empírico básico que usa una parametrización simple para la construcción de la función potencial del peligro a partir del concepto de modelación climática asociada al concepto de vulnerabilidad, bajo el supuesto de que dada la geografía de Veracruz (orografía, proximidad con la costa y espacios urbanos) sea posible consignar una vulnerabilidad alta. Así, bajo esa premisa el modelado directo de CTs, se convierte en un elemento funcional de nuestra propuesta.

$$P = \left(N_i * \left(\frac{Hab}{A} \right) \right) * I_t$$

Donde P es la función del peligro potencial que impactó, N_i corresponde al número normalizado de eventos que impactan al estado de Veracruz, Hab es la población del municipio en la trayectoria del CT, A es el área del municipio y finalmente I_t representa la intensidad del fenómeno por categoría en la trayectoria de impacto sobre el territorio. El valor normalizado N_i se obtiene de la serie de CTs 1950-2017 en relación a los eventos que impactaron al Estado de Veracruz.

2.1 Diseño experimental

En primer lugar se evaluó la probabilidad de presencia de CTs en la costa del Golfo de México en particular sobre territorio Veracruzano, después se efectuaron un conjunto de simulaciones donde se presentaban las trayectorias completas de CTs de 1950 a 2017 para el estado de Veracruz, donde fuera posible observar trayectoria, intensidad y afectaciones a nivel municipal, las simulaciones se agruparon por década como un elemento de análisis en la construcción del modelo de peligro con base en la probabilidad de eventos en Veracruz. Finalmente, se evaluó el modelo de peligro para los cinco casos mencionados, con el objeto de estimar el valor de peligro de acuerdo a las trayectorias posibles e intensidades modeladas.

3. RESULTADOS

La comunidad científica de la modelación atmosférica está dedicada a evaluar el desempeño de sus modelos, cada vez forman bases de datos más grandes y emplean principalmente tres variables básicas de los CTs (génesis, intensidad y trayectoria). Estos modelos son utilizados como herramientas, y sus simulaciones (resultados después de su tiempo de integración) son incorporadas a otros sistemas, por ejemplo en aquellos que estiman la vulnerabilidad o riesgo. En nuestro caso, el modelo se usó como elemento de contraste para saber si el modelado es capaz de atender los efectos de una geografía tan compleja que, para nuestro caso, tiene una relación directa con los efectos económicos asociados al desastre. Se presenta la tabla 2 donde se recogen tres casos de los utilizados en las simulaciones. Sin embargo, sólo se presenta el caso de Karl para ilustrar el proceso.

Como se puede ver en la tabla 2 la intensidad del CT no atiende de manera directa su impacto en el costo del desastre. Por ejemplo, el costo de KARL (categoría 3) fue superior en casi un 40%, en comparación con el caso de DEAN (categoría 5). Si bien es cierto que la función de probabilidad de eventos es muy simple, incluir variables sociales, como la densidad de población, produce los resultados importantes (estadísticamente significativos con un valor de R_2 mayor a 0.9). Finalmente, se

modela el efecto del peligro sobre la topografía del estado de Veracruz y se logra observar los efectos diferenciados para KARL cuando impacta directamente en la zona costera, sobre un área metropolitana. El efecto del suelo y cobertura vegetal disminuyen el peligro relacionado al paso del CT. No obstante cuando llega a la zona montañosa central, el peligro vuelve a incrementarse por los efectos de precipitación-escurrimiento. Sin embargo, esto último forma parte del trabajo futuro que se desarrollará en una segunda etapa.

Peligro	Año	CTs	Categoría	Costo (en pesos mexicanos)
Moderado	2005	STAN	H1	21 millones
Alto	2007	DEAN	H5	9,578.85 millones
Alto	2010	KARL	H3	24,931.8 millones

Tabla 2: Valor del peligro para 3 CTs y su impacto económico. Fuente: Elaboración propia con datos CENAPRED 2017.

En el modelado, se observa que para la zona costera, con altitudes de hasta los 500 metros sobre el nivel medio del mar, el peligro ajusta muy bien, mientras que para la zona montañosa en una altitud superior a los 1000 metros, el modelo subestima ligeramente el peligro.

En la figura 7, se observa el paso del CT KARL y se puede observar que hay una diferencia en la zona montañosa, debido a que existe un área más grande con un valor de peligro real mayor al que estima el modelo, en una escala del 5 al 1 (donde 5 es alto, 4 es moderado, 3 es medio, 2 es bajo y 1 es mínimo). Esto ocurre a pesar de que el modelo subestima la precipitación en casi un 50%, es decir, el peligro por lluvia y escurrimiento en la zona montañosa son elementos determinantes en su cálculo regional, pues cambian los resultados del modelo.

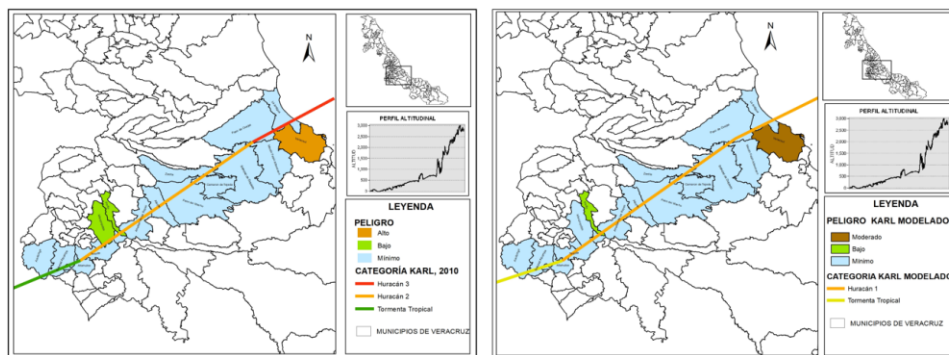


Fig. 7. Trayectoria real (izq) y modelada (der) del peligro.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los revisores y árbitros por la valiosa guía, orientación y sobre todo por su revisión crítica que nos permitió definir conceptos hacia una nueva propuesta.

REFERENCIAS

- Cardona, O.D. (2003). *La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Una crítica y revisión necesaria para la gestión*, 15-16 Recuperado de: <http://www.desenredando.org/public/articulos/2001/repvuln/RepensarVulnerabilidadyRiesgo-1.0.0.pdf>
- CENAPRED, (2017). *Centro Nacional de Prevención de Desastres. Secretaría de Gobernación. México.* Recuperado de: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/impacto-socioeconomico-de-desastres-de-2000-a-2015/resource/868fe928-b3e7-4940-9e33-3abbb7cd41aa>
- Dominguez, C., Magaña, V. (2018). *The role of tropical cyclones in precipitation over the tropical and subtropical North America. Frontiers in Atmospheric Sciences*, (6), 6-9. Doi 10.3389/feart.2018.00019.
- Elguindi, N., Xunqiang, B., Filippo G., Badrinath, N., Jeremy, P., Fabien, S., Sara, R., Ashraf, Z., Travis, O' B., Graziano, G., (2013): *Regional Climatic Model RegCM User Manual Version 4.3. The Abdus Salam International Center for Theoretical Physic.* 34-36.
Recuperado de: <https://gforge.ictp.it/gf/.../docmanfileversion/31/.../ReferenceMan>
- Pal S. J., Giorgi, F., Bi, X., Elguindi, N., Solmon, F., Gao, X., Rauscher, S.A., Francisco, R., Zakey, A., Winter, J., Ashfaq, M., Syed, F.S., Bell N, S., Jagadish, D. K., Konare, A., Martinez, D., Da Rocha, R.P., Sloan L.C., Steiner, A.L. (2007) : *Regional Climate Modeling for the Developing World. Bulletin of American Meteorological Society.* (88), 1395-1409. Recuperado de: <https://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/BAMS-88-9-1395>
- Gallo, M. (2011). *Experiencias variadas: Reducción de vulnerabilidad del sector público ante eventos climáticos extremos: Un seguro indexado para el fenómeno El Niño.* 82-84 Recuperado de: <http://www.cridlac.org/digitalizacion/pdf/spa/doc18279/doc18279-contenido.pdf>
- Guadarrama, M., Welsh, C. (2008). *Estudios para un Plan Veracruzano de adaptación al Cambio Climático.* Gaceta Universidad Veracruzana. 17-18. Recuperado de: https://www.uv.mx/gaceta/gaceta_suplemento_cc.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2012). *Censo de población y vivienda.* Recuperado de: <http://www.inegi.org.mx/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015). Recuperado de: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/ver/poblacion>
- IPCC. (2007). *Cambio climático: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.* Nature (446). <https://doi.org/10.1038/446727a> <https://www.nature.com/articles/446727a>

- Kossin, J.P., Hall, T., Knutson T., Kunkel K. E., Trapp R.J., Waliser D. W., Wehner M. F. (2017). *Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment*. (1) 256- 276. doi: 10.7930/J07S7KXX
- Lavell, A. (2001). *Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una Definición*. 2 -3 Recuperado de : http://www.undp.org/content/dam/undp/documents/cpr/disred/espanol_/glr_andino/docs/METODOLOGIA%20DE%20SISTEMATIZACI%C3%93N%20PARA%20DIAGRAMAR/apuntes_hacia_una_definici_n_de_la_gesti_n_de_riesgo_A_llan_Lavell.pdf
- Maskrey, A. (1993). Vulnerabilidad y mitigación de desastres [versión electrónica]. En: Maskrey, A (Comp.). *Los Desastres No Son Naturales*, La Red, 1993
- Narváez, L., Lavell, A., Pérez, G. (2009). *La gestión del riesgo de desastres: un enfoque basado en procesos*. Recuperado de: <http://www.comunidadandina.org/StaticFiles/Temas/AtencionPrevencionDesastres/EJET1Procesos.pdf>
- Ruiz, A., Nigam, S., Kavvada, A. (2013). *The Atlantic Multidecadal Oscillation in twentieth century climate simulations: Uneven progress from CMIP3 to CMIP5*. *Climate Dynamics*, (41) 11–12, 3301–3315. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1810-0>
- Wilches, G. (1993). *La vulnerabilidad global*. A. Maskrey (comp.). Los desastres no son naturales. (IX- XL) Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Ciudad de Panamá, Panamá. Recuperado de: <http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.0.0.pdf>
- Yáñez, A., Day, J. W., Twilley, R. R., Day, R. H. (2014). *Manglares: Ecosistema centinela frente al cambio climático, Golfo de México*. *Madera Bosques*, (20), 39–75. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/617/61732733003.pdf>