

EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS EN MÉXICO

HYDROMETEOROLOGICAL EVENTS IN MEXICO

Lourdes Loza Hernández

Estancia Posdoctoral 2019-2 CONACyT, Facultad de Ingeniería,
Universidad Autónoma del Estado de México, 50100, Toluca, Estado de México, México.
E-mail: llozahe@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5107-7110>

RESUMEN

Los eventos hidrometeorológicos son una de las fuentes de disrupción de la cadena de suministro, es por ello que investigadores, expertos y practicantes en Cadena de Suministro y Logística Humanitaria están interesados en desarrollar metodologías que permitan evaluar el riesgo de estos eventos y atenuar sus efectos. Las metodologías desarrolladas consideran factores cualitativos, cuantitativos o ambos. Con base en lo anterior, este documento muestra la importancia de los eventos hidrometeorológicos el contexto Mexicano, a través de un enfoque cuantitativo (estadístico) realizado por investigadores, organismos nacionales e internacionales que presentan las pérdidas humanas y económicas en diferentes periodos de tiempo. Además, de mostrar los enfoques que en este campo de estudio se han desarrollado, con el fin de contribuir en la generación y transferencia del conocimiento, propiciando el incremento del nivel de seguridad de la población ante este tipo de eventos naturales y disminuir el impacto socioeconómico y del medio ambiente. El resultado del análisis estadístico realizado muestra que la tendencia de las pérdidas económicas y eventos ocurridos en los últimos años tiende a incrementar.

Palabras clave: Logística humanitaria, Eventos hidrometeorológicos, Desastres naturales, Pérdidas económicas.

ABSTRACT

Hydrometeorological events are one of the sources of disruption of the supply chain, which is why researchers, experts and practitioners in Supply Chain and Humanitarian Logistics are interested in developing methodologies to assess the risk of these events and mitigate their effects. The developed methodologies consider qualitative, quantitative or both factors. Based on the above, this document shows the importance of hydrometeorological events in the Mexican context, through a quantitative (statistical) approach carried out by researchers,

local and international organizations that present human and economic losses in different periods of time. In addition, this work shows the approaches developed in this field, in order to contribute to the generation and transfer of knowledge, promoting the increase in the level of security of the population in the face of this type of natural events and reducing the socioeconomic impact and of the environment. The result of the statistical analysis carried out shows that the trend of economic losses and events in recent years tends to increase.

Keywords: Humanitarian logistics, Hydrometeorological events, Natural disasters, Economic losses.

INTRODUCCIÓN

Para facilitar la lectura del trabajo es importante mencionar algunos conceptos que se relacionan con el tema. *Desastre* es "una interrupción grave del funcionamiento de una sociedad, causando pérdidas humanas, materiales o ambientales generalizadas que superan la capacidad de la sociedad afectada para hacer frente a ellos utilizando solo sus propios recursos" (Melching, y Pilon, 2006). La preocupación de las personas por los desastres se relaciona con la muerte y el costo económico de sus resultados, que depende básicamente de la peligrosidad y el riesgo del evento. El *peligro* es "un evento amenazante, o la probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente dañino dentro de un período de tiempo y área determinados" (Navia y Ferreira, 2018), (Birkmann, 2006), (Birkmann et al., 2013). El *riesgo* se define como "las pérdidas esperadas (de vidas, heridos, daños materiales y actividad económica interrumpida) debido a un peligro particular para un área y un período de referencia dados" (Melching y Pilon 2006), (Smithy Petley. 2009); *vulnerabilidad* "es el grado de pérdida (de 0 a 100 por ciento) resultante de un fenómeno potencialmente dañino", (Melching y Pilon, 2006). (Jha et al., 2012), (Rashed y Weeks, 2003), (Dewan, A. 2013).

Los desastres naturales son aquellos desastres originados por causas naturales tales como: eventos geológicos, meteorológicos, hidrológicos y biológicos. Un evento hidrometeorológico se define como "un fenómeno hidrológico y meteorológico que implica una transferencia de energía y agua entre la tierra y la atmósfera inferior" (Chuan et al., 2018). Los eventos hidrometeorológicos son calificados como desastres, cuando sus efectos superan la capacidad de la población afectada para hacer frente a ellos a través de sus propios recursos. Los peligros naturales originados por eventos hidrometeorológicos "son el resultado de procesos naturales o fenómenos de naturaleza atmosférica, hidrológica u oceanográfica entre los que se encuentran inundaciones, ciclones tropicales, sequías y desertificación" (UNESCO, 2018). Por lo que se afirma que los desastres hidrometeorológicos incluyen inundaciones, tormentas tropicales y sequías, siendo sus principales causas el agua (abundancia o escases), el viento y el cambio climático (Jayawardena, 2013). En adición a lo anterior, las medidas importantes por definir en desastres naturales son: magnitud, intensidad y frecuencia de los eventos que los ocasionan (Van Westen et al., 2011). Por lo tanto, es sustancial precisar el impacto de un desastre, el cual puede medirse teniendo en cuenta los umbrales de efecto humano (muerte o lesión), la pérdida económica y el efecto ambiental; considerando que los efectos pueden ser directos o indirectos además de tangibles e intangibles. La vulnerabilidad de una región a un evento depende de las características propias del evento, la reacción de la población al evento (preparación y experiencia), la ubicación geográfica y demográfica de la región y la infraestructura de la región (urbana o rural), entre otros factores.

Otros conceptos relevantes son: *análisis de riesgo* que proporciona información sobre riesgos anteriores, actuales y futuros; *evaluación de riesgo* que se ocupa de su percepción y evaluación; *reducción del riesgo* focalizado a definir las intervenciones con un potencial para disminuir el riesgo; y *gestión de riesgo* que es "el proceso sistemático de toma de decisiones administrativas, de organización, de habilidades operativas y de capacidades de infraestructura para implementar políticas, estrategias y acciones de mitigación del riesgo para disminuir el impacto de los desastres naturales, ambientales y tecnológicos relacionados" (UNISDR, 2009a). (UNISDR, 2009b). Para recopilar e informar sobre eventos hidrometeorológicos, los investigadores han dividido el período de un desastre en tres fases: Fase Previa al

desastre: implica la previsión de eventos desastrosos. Fase Durante el desastre: período en el que el evento ocurre. Fase Posterior al desastre: la gestión del desastre (Chuan et al., 2018). (Day et al., 2012). (Zanuttigh y Quevauviller, 2015). La prevención, la ayuda operativa durante el desastre y la etapa de reconstrucción se detallan en componentes y actividades separadas debido a la variedad de acciones a realizar. Recientemente, la atención se concentra en la fase de prevención mediante el desarrollo de sistemas de alerta, mitigación del riesgo, programas gubernamentales de prevención y programas de contingencia ante desastres naturales.

METODOLOGÍAS DESARROLLADAS

Algunas investigaciones realizadas sobre la evaluación del riesgo, resiliencia y vulnerabilidad en relación al tema de Cadena de Suministro y Logística Humanitaria en situaciones de desastre, las podemos encontrar en los trabajos realizados por (Christopher y Tatham, 2011), (Christopher, 2003), (Barnes y Oloruntoba, 2005), (McCormack, K. et al., 2008), quienes sostienen que las interrupciones en la cadena de suministro pueden ser causadas por algunos elementos dentro o fuera de ella, además de que consideran un enfoque de tres fases para el análisis de interrupciones en la cadena: i. Identificación del riesgo, ii. Evaluación de riesgo, y iii. Mitigación del riesgo. (Sheffi, 2005). Propone posibles modos de falla del sistema una vez que este es afectado por un evento disruptivo: Falla en el suministro, falla en la demanda, falla en el transporte, falla en las instalaciones, falla en las comunicaciones y violación de la carga.

Para (Kopczak y Thomas, 2005), Logística Humanitaria es la planificación, ejecución y control del flujo y almacenamiento eficiente y rentable de bienes materiales, así como información relacionada desde el punto de origen al punto de consumo, con el fin de aliviar el sufrimiento de las personas vulnerables. Mayores detalles en Logística Humanitaria, se encuentra en los trabajos desarrollados por (Christopher y Tatham, 2011), (Kovács y Spens, 2007). (Pettit, et al., 2011), (Thomas y Kopczak, 2005), (Van Wassenhove, 2006), (Altay y Green, 2006), (Pettit y Beresford, 2005), (Lee y Zbinden, 2003), (Thomas, 2003), (Cottrill, 2002), (Nisha de Silva, 2001), solo por mencionar algunos.

Para llevar a cabo las actividades en cada una de las etapas del periodo de duración de un desastre, los investigadores y profesionales se han apoyado de

métodos y herramientas que les permitan modelar las condiciones reales para mitigar su impacto. Actualmente se han desarrollado diferentes metodologías que permiten evaluar el riesgo en la cadena de suministro y específicamente para logística humanitaria, siendo éstas de carácter cualitativo, cuantitativo e híbridos.

Las técnicas cualitativas están basadas en el proceso de estimación y en las opiniones de expertos, son específicas de casos particulares y, por lo tanto, cualquier generalización es poco común. El análisis What-if y el análisis de tareas son algunas de las metodologías populares (Reniers et al., 2005). (Kontogiannis, 2003). Por otro lado, los enfoques cuantitativos utilizan funciones/expresiones matemáticas para estimar el riesgo, donde su evaluación cuantitativa en algunas ocasiones es determinada desde una matriz de decisión (Van der Voort et al., 2007), (Henselwood y Phillips 2006). Finalmente, las técnicas híbridas son inherentemente complejas ya que combinan elementos de diferente naturaleza. Algunos de los enfoques más populares son el análisis de árbol de fallas (Haines, 2009), y análisis de árbol de eventos (Beim y Hobbs 1997).

Los métodos cuantitativos, como se mencionó anteriormente, permiten determinar valores para evaluar el riesgo. Algunos de estos métodos son desarrollados por autores como: (Georgakakos, K. 1986). quien generalizó el pronóstico de inundaciones y tormentas repentinas a través de un modelo dinámico-estocástico para eventos hidrometeorológicos. (Dutta, D. et al., 2003). Proponen un modelo matemático para estimar las pérdidas económicas en inundaciones, el cual es probado a través de simulaciones. (Madsen, y Jakobsen, 2004). Desarrollaron un modelo de pronósticos para determinar la intensidad de las tormentas causadas por ciclones con base en la presión del aire y la velocidad del viento, probando los resultados a través de simulaciones realizadas. (Greiving et al., 2006), formulan una metodología para la evaluación de riesgos integrando la peligrosidad de los eventos naturales. (Koutsoyiannis et al., 2007), muestran un enfoque estocástico para determinar la incertidumbre en futuras predicciones hidrológicas comparando escenarios probabilísticos (Jiang et al., 2009), aplicaron matemáticas difusas para evaluar el riesgo de inundaciones (Jonkman et al., 2008) utilizaron Sistemas de Información Geográfica (GIS) para estimar el daño económico causado por inundaciones en Holanda. (Jonkman et al., 2008), exponen un método que toma en cuenta la pérdida de vidas en inundaciones y las posibilidades de

evacuación de la población en estos eventos (Papalexioiu et al., 2011) como resultado de un análisis estocástico, generan un modelo que representa todos los eventos de lluvia bajo patrones similares realizaron un modelo cuantitativo para evaluar el riesgo de tifones que desencadenan fuertes lluvias en tierra.

El uso de Análisis Multicriterio utilizado por (Ball et al., 2012) para medir la vulnerabilidad, muestra la aplicación de nuevas metodologías (Gain y Hoque, 2013) usaron ArcGIS, para evaluar el riesgo de inundaciones (Huang et al., 2013) desarrollaron un modelo a través del Análisis Envolvente de Datos (DEA) para clasificar la vulnerabilidad (Soneye, 2014) muestra una visión general la cadena de suministro para proporcionar ayuda humanitaria a víctimas de desastres continuos por inundaciones en Lagos, Nigeria. Al igual que (Pedrozo-Acuña et al., 2014) quienes diseñaron un modelo de simulación para medir el riesgo de inundaciones extremas en México (Jayawardena, 2015) expone un modelo cuantitativo para determinar las causas y efectos de eventos naturales y proponer medidas de mitigación del riesgo a través de pronósticos y lógica difusa (Manopiniwes y Irohara, 2016) proponen un modelo de programación lineal mixta con estocasticidad para apoyar a los tomadores de decisiones en las etapas de pre y post desastre de la cadena de suministro afectada por eventos naturales (Lee et al., 2017) estimaron el costo del daño causado por desastres naturales en Corea a través de un análisis de regresión Apel et al. (2006) presenta un modelo probabilístico para la evaluación del riesgo de inundaciones (Paul, y Sharif, 2018) analizaron el daño causado por desastres hidrometeorológicos en Texas, U.S.A, a través del uso de pronósticos con información estadística de 1960 a 2016 (De-León-Escobedo et al., 2018) propusieron un modelo probabilístico para mitigar el deslave de pendientes durante tormentas fuertes (Yves Hategekimana, et al., 2018) utilizaron análisis jerárquico multicriterio con lógica difusa (Liu et al., 2018) nos muestran una revisión de literatura sobre los avances realizados en la evaluación del riesgo de tormentas repentinas en China.

Desde una perspectiva generalizada y tomando como base la formulación de (Giupponi et al., 2013), el riesgo es calculado en función de tres variables:

$$R = f(H, V, E) \quad (\text{Melching, C. y Pilon, P. 2006}).$$

Donde:

H: nivel de peligrosidad del evento (Hazardous: P/E – physical / ambiental)
V: nivel de vulnerabilidad del área que afecta (Vulnerability)
E: exposición del área afectada (Exposure)
R: representa el riesgo evaluado en función de las variables.

Lo anterior nos muestra la variedad de métodos utilizados para la evaluación y estimación del riesgo de eventos naturales, especialmente para eventos hidrometeorológicos. Considerando que el objetivo de este documento es mostrar el impacto que estos eventos tienen en México a través del uso del análisis estadístico, la siguiente sección muestra el análisis realizado con base en información oficial publicada por CENAPRED en su reporte socioeconómico de 2015.

EXPOSICIÓN

Un primer acercamiento al análisis cuantitativo del riesgo es el análisis estadístico de la información histórica de los eventos ocurridos en una región. En este apartado se describe un panorama económico de los eventos ocurridos en México durante los últimos años, centrando la investigación en los eventos hidrometeorológicos, lo que permite comentar la importancia de evaluar el riesgo de estos eventos con base en los resultados de las estadísticas reportadas

El Centro Nacional de Prevención de Desastres en México (CENAPRED) es el organismo gubernamental que tiene como misión “salvaguardar en todo momento la vida, los bienes e infraestructura de las y los mexicanos a través de la gestión continua de políticas públicas para la prevención y reducción de riesgos de desastres...” (CENAPRED, 2019) esta institución con el fin de analizar detalladamente los efectos de cada evento hidrometeorológico que ha ocasionado daños en nuestro país, ha tenido a bien clasificar estos eventos de la siguiente forma: lluvias e inundaciones, ciclones tropicales, temperaturas extremas, sequías y otros fenómenos hidrometeorológicos (tormentas severas y fuertes vientos). En el año 2005 México ocupó el séptimo lugar en la lista mundial de países afectados por desastres naturales, considerando los desastres hidrometeorológicos los de mayor incidencia (CENAPRED, 2014).

Los tipos de desastre con mayor afectación a la población en México en el periodo 2000-2011 fueron tormentas, inundaciones y sismos, habiendo

generado un total de 7'373,904 personas afectadas (WHO, 2011). Estadísticas reportadas por WHO en colaboración con el CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters) muestran que el número de personas fallecidas debido a inundaciones durante el periodo comprendido de 1900 a 2011 es de 3,586. (CENAPRED, 2019) en su informe socioeconómico anual, muestra que el 96.2 por ciento de daños y pérdidas calculados corresponden en primera instancia, a fenómenos hidrometeorológicos (17,110 millones de pesos), seguido por los geológicos con 1.4 por ciento (246.9 millones de pesos), también con 1.4 por ciento (245.6 millones de pesos) los de origen químico. En lo que concierne a los fenómenos hidrometeorológicos 44 por ciento del impacto en términos de daños y pérdidas, corresponde a lluvias fuertes, mientras que 28.4 por ciento a ciclones tropicales. En el tercer sitio se situaron las inundaciones con 18.4 por ciento de afectaciones provocadas por este fenómeno.

Por otro lado, (Abeldaño y González, 2018) basados en información obtenida de la base de datos International Disaster Database (EM-DAT) que mantiene el Centre de Recherche sur l'Epidémiologie des Desastres de L'École de Santé Publique de l'Université Catholique de Lovaina, en Bélgica, muestran que de un total de 219 desastres registrados en la base de datos durante el periodo 1900 a 2016, 31.1 por ciento fue de origen tecnológico y el 68.9 por ciento es de tipo natural. Los desastres meteorológicos y los hidrológicos son los de mayores pérdidas económicas, registrando un total de 35,322 millones de dólares.

CENAPRED clasifica como eventos hidrometeorológicos los siguientes eventos:

- Bajas temperaturas
- Ciclón tropical
- Fuertes vientos
- Tormenta severa o granizada
- Tornado
- Inundación
- Lluvias
- Marea de tormenta
- Sequía
- Heladas
- Temperaturas extremas

La Tabla 1 muestra la suma de las pérdidas económicas por año en México del periodo (2000-2015). Pérdidas causadas por eventos hidrometeorológicos clasificados (CENAPRED,

2019).

Tabla 1: Pérdidas económicas por eventos Hidrometeorológicos en México (2000 -2015)

Año	No. de eventos por año	Pérdidas (Millones de DLS)
2000	34	157.27
2001	12	278.71
2002	133	1,123.96
2003	177	1,050.18
2004	180	62.78
2005	129	4,148.66
2006	166	401.20
2007	164	33.14
2008	221	1,234.03
2009	166	1041.35
2010	157	5,903.92
2011	225	3,189.72
2012	172	1,116.42
2013	153	4,422.13
2014	165	2,103.06
2015	165	1,060.18

Elaboración propia, fuente de datos CENAPRED (2019)

De los datos en la Tabla 1 se aprecia que el año con mayores pérdidas económicas fue el año 2010, con aproximadamente 6,000 millones de dólares; el año en el que se presentó un mayor número de eventos es 2011 con 225 eventos, los datos fueron calculados de información publicada por (CENAPRED, 2019).

La Figura 1 indica la tendencia de las pérdidas económicas causadas por eventos hidrometeorológicos en México, durante el periodo de 2000 a 2015.

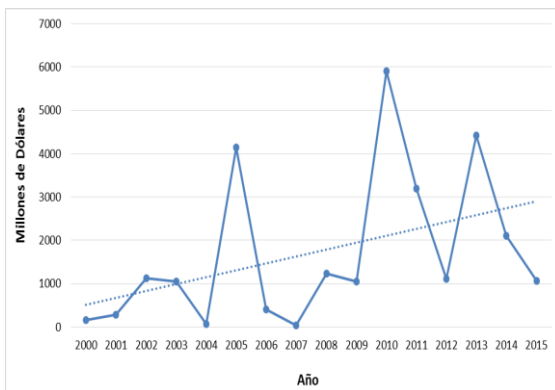


Figura 1: Análisis de tendencia de pérdidas económicas en México durante los años 2000 – 2015. Elaboración

propia, fuente de datos CENAPRED (2019)

La Figura 1 muestra un incremento a lo largo de los años con un promedio anual aproximado de 2,300 millones.

La Figura 2 indica la tendencia de ocurrencia de eventos hidrometeorológicos en México, durante el periodo de 2000 a 2015.

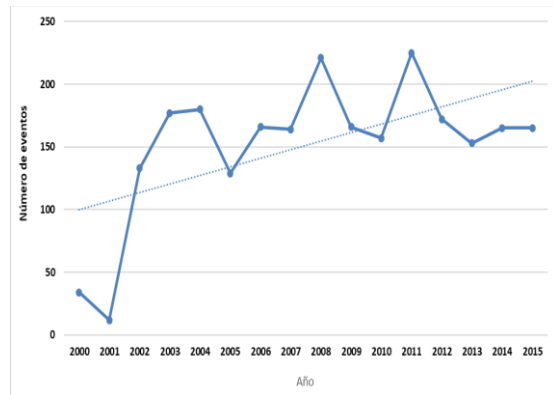


Figura 2: Análisis de tendencia del número de eventos hidrometeorológicos ocurridos en México durante los años 2000 – 2015. Elaboración propia, fuente de datos CENAPRED (2019)

La Figura 2 muestra un incremento a lo largo de los años, con un promedio anual aproximado de 201 eventos.

DISCUSIÓN

Las tendencias que se muestran tanto para el número de eventos como para las pérdidas económicas son crecientes, sin embargo, debido al número de datos que se tienen no es posible pronosticar un intervalo de tiempo con un nivel de confianza aceptable. Dado lo anterior, se calculó el coeficiente de correlación entre el número de eventos por año y las pérdidas obtenidas por año, para identificar el grado de dependencia de las variables, donde se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.21, el cual expresa que el sentido de variación del número de eventos por año hace que las pérdidas incrementen en un 0.21, con una relación directa. Si los eventos disminuyen, las pérdidas disminuyen. Es importante mencionar que la relación de crecimiento de las pérdidas es débil dado el pequeño valor del coeficiente de correlación obtenido.

Las estadísticas proporcionadas por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2019) y (Abeldaño y González, 2018), sobre el impacto

socioeconómico que los eventos naturales, sobre todo los hidrometeorológicos, tienen en el desarrollo del país, nos lleva a reflexionar sobre la relevancia de los efectos que este tipo de eventos causan en el bienestar de la población y en los sectores tanto económico como ambiental del país. Concluyendo, que las acciones realizadas al momento requieren de mayor fortalecimiento a través del diseño, desarrollo e implementación de nuevos enfoques que valoren el riesgo en Cadena de Suministro y Logística Humanitaria para este tipo de eventos.

CONCLUSIONES

Los desastres naturales son una causa importante en la disrupción de la cadena de suministro, debido a los efectos que estos tienen en los diferentes sectores de la región afectada.

La revisión de literatura realizada y el análisis de las estadísticas desarrollado sobre desastres naturales en México, muestran la magnitud y relevancia del tema, así como la preocupación que expertos, investigadores, entidades gubernamentales, organismos no gubernamentales y organismos internacionales tienen, por desarrollar metodologías que permitan evaluar el riesgo, así como proponer alternativas para disminuir los efectos de los eventos y acelerar la resiliencia en las áreas afectadas, ya que su efecto se ve reflejado directamente en el daño humano, la economía del país y del medio ambiente. Del análisis realizado con información obtenida de CENAPRED, sobre las pérdidas económicas y los eventos ocurridos del periodo de 2000 a 2015, se observa que las tendencias en ambos casos son crecientes y que el coeficiente de correlación que tienen las pérdidas económicas con respecto a los eventos hidrometeorológicos es positivo (0.21).

Por lo anterior, es de vital importancia desarrollar estrategias para prevenir y mitigar los desastres causados por eventos hidrometeorológicos en México, así como trabajar en conjunto con los sectores productivos y los diferentes niveles gubernamentales en beneficio de la población tanto urbana como rural.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido apoyada por Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACyT), a través del Programa de Becas de Estancias Posdoctorales para Fortalecer la Calidad de los Posgrados Nacionales 2019(2), quién otorgó

una beca a la Dra. Lourdes Loza Hernández para llevar a cabo su estancia en la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Autónoma del Estado de México.

REFERENCIAS

- Abeldaño, Z.R.A. y González, V.A.M. (2018). Desastres en México de 1990 a 2016: patrones de ocurrencia, población afectada y daños económicos. *Rev Panam Salud Pública*. ;42: e55. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2018.55>.
- Altay, N. y Green, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175 (1), p. 475–493.
- Apel, H., Thieken, A.H., Merz, B., y Blöschl, G. (2006). A probabilistic modelling system for assessing flood risks. *Natural Hazards, Springer* 38: 79–100. Doi: 10.1007/s11069-005-8603-7.
- Ball, T., Black, A., Ellis, R., Hemsley, L., Hollebrandse, F., Lardet, P., y Wicks, J. (2012). A new methodology to assess the benefits of flood warning. *The Chartered Institution of Water and Environmental Management Journal of Flood Risk Management*. DOI: 10.1111/j.1753-318X.2012.01141.x.
- Barnes, P. y Oloruntoba, R. (2005). Assurance of Security in Maritime Supply Chains: Conceptual Issues of vulnerability and Crisis Management. *Journal of International Management* 11 (4).
- Beim, G. K. y Hobbs B. F. (1997). Event tree analysis of lock closure risks. *Journal of Water Resources Planning and Management ASCE*, 123, 137:e198.
- Birkmann, J. (2006). Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: conceptual frameworks and definitions. United Nations University-Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS), Tokyo, p 9–54. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6975.2010.01389.x>.
- Birkmann, J., Cardona, O. D., Carreño, M. L., Barbat, A. H., Pelling, M., Schneiderbauer, S., Kienberger S., Keiler, M., Alexander, D., Zeil, P., y Welle, T. (2013). Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework. *Nat Hazards* 67: p.193–211. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0558-5>. Accesada en: Enero de 2019.
- CENAPRED, Centro Nacional de Prevención de Desastres (2014). Impacto Socioeconómico de los Desastres en México. Secretaría de Gobernación. México. Versión electrónica.
- CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres) (2019). Impacto socioeconómico 2000 -2015. Secretaría de Gobernación. <https://datos.gob.mx/busca/organization/cenapred>. Accesada en: septiembre 11, 2019.
- Christopher, M. (2003). “Creating Resilient Supply Chains: a Practical Guide”, Cranfield University School of Management. ISBN 1-861941-02-1 (<http://www.som.cranfield.ac.uk/> - September 2006)
- Christopher, M. y Tatham, P. (2011). Introduction. In M. Christopher & P. Tatham (Eds.), *Humanitarian logistics. Meeting the challenge of preparing for and responding to disasters* :p. 1–14. London: Kogan Page.
- Chuan, N. C., Thiruchelvam, S., Ghazali, A., Nasharuddin,

- K. M., Sabri, R. M., Jin, N. Y., Norkhairi, F. F., y Yahya, N. (2018). A review of key activities in hydro meteorological disaster management. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.35) (2018) 839-843.
- Cottrill, K. (2002). Preparing for the worst. *Traffic World*, 266 (40), p.15.
- Day, J. M., Melnyk, S. A., Larson, P. D., Davis, E. W., y Whybark, D. C. (2012). Humanitarian and disasters relief supply chains: a matter of life and death. *Journal of Supply Chain Management*, 48 (2).
- Dewan, A. M. (2013). *Floods in a megacity: geospatial techniques in assessing hazards, risk and vulnerability*. First edition. Springer Geography. ISBN 978-94-007-5874-2 ISBN 978-94-007-5875-9 (eBook).
- De-León-Escobedo, D., Delgado-Hernández, D. J., y Pérez, S. (2018). *Optimal Mitigation of Slopes by Probabilistic Methods*. International Scholarly and Scientific Research & Innovation, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Geotechnical and Geological Engineering. 12 (3).
- Dutta, D., Herath, S., y Musiaka, K. (2003). A mathematical model for flood loss estimation. Elsevier Science B.V. All rights reserved. *Journal of Hydrology* 277: p.24-49. Doi: 10.1016/S0022-1694(03)00084-2Journal.
- Gain, A.K. y Hoque, M.M. (2013). Flood risk assessment and its application in the eastern part of Dhaka City, Bangladesh. *Journal Flood Risk Management* 6, p.219-228.
- Georgakakos, K. P. (1986). Generalized Stochastic Hydrometeorological Model for Flood and Flash-Flood Forecasting I. Formulation. *Water Resources Research*, 22 (13). p.2083-2095.
- Giupponi, C., Mojtahed, V., Gain, A.K., y Balbi, E. (2013). Integrated Assessment of Natural Hazards and Climate Change Adaptation: I. The KULTURisk Methodological Framework. Department of Economics of the Ca' Foscari University of Venice. Electronic copy available at: <http://ssrn.com/abstract=2233310>.
- Greiving, S., Fleischhauer, M., y Lückenköter, J. (2006). A Methodology for an integrated risk assessment of spatially relevant hazards, *Journal of Environmental Planning and Management*, 49 (1), p.1-19, DOI: 10.1080/09640560500372800.
- Haines, Y. Y. (2009). *Risk modeling, assessment, and management* (3rd Ed.). A John Wiley & Sons Inc. Publication, ISBN 978-0-470-28237-3.
- Henselwood, F. y Phillips, G. (2006). A matrix-based risk assessment approach for addressing linear hazards such as pipelines. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 19 (5), p.433: e441.
- Huang, J., Liu, Y., Ma, L., y Su, F. (2013). Methodology for the assessment and classification of regional vulnerability to natural hazards in China: the application of a DEA model. Springer Science+Business Media B.V. 2012. *Nat Hazards* 65: p.115-134. DOI 10.1007/s11069-012-0348-5
- Jayawardena, A. W. (2013). Hydro-meteorological disasters: Causes, effects and mitigation measures with special reference to early warning with data driven approaches of forecasting. ScienceDirect, IUTAM Symposium on the Dynamics of Extreme Events Influenced by Climate Change. *Procedia IUTAM* 17 (2015). p.3-12. Available online at www.sciencedirect.com.
- Jayawardena, A.W. (2015). Hydro-meteorological disasters: Causes, effects and mitigation measures with special reference to early warning with data driven approaches of forecasting. *Procedia IUTAM* 17. p.3-12 Doi: 10.1016/j.piutam.2015.06.003.
- Jha, A. K., Bloch, R., y Lamond, J. (2012). *Cities and flooding: a guide to integrated urban flood risk management for the 21st century*. The World Bank, Washington, DC.
- Jiang, W., Deng, L., Chen, L., Wu, J., y Li, J. (2009). Risk assessment and validation of flood disaster based on fuzzy mathematics. Science Direct. *Progress in Natural Science* 19. p.1419-1425.
- Jonkman, S.N., Bočkarjova, M., Kok, M., y Bernardini, P. (2008). Integrated hydrodynamic and economic modelling of flood damage in the Netherlands. Elsevier B.V., *Ecological Economics*, 66 (7). p. 7-9. Doi:10.1016/j.ecolecon. 2007.12.022.
- Kontogiannis, T. (2003). A petri net-based approach for ergonomic task analysis and modeling with emphasis on adaptation to system changes. *Safety Science*, 41 (10), p.803-835.
- Kopczak, L. R. y Thomas, A. S. (2005). *From Logistics to Supply Chain Management: The Path Forward in the Humanitarian Sector*. Fritz Institute, California.
- Koutsoyiannis, D., Efstratiadis, A., y Georgakakos, K. P. (2007). Uncertainty Assessment of Future Hydroclimatic Predictions: A Comparison of Probabilistic and Scenario-Based Approaches. *Journal of Hydrometeorology*, 8, p.261-281. DOI: 10.1175/JHM576.1.
- Kovács, G. y Spens, K. M. (2007). Humanitarian logistics in disaster relief operations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37 (2), p.99-114.
- Lee, H. W. y Zbinden, M. (2003). Marrying logistics and technology for effective relief. *Forced Migration Review*, 18, p.34-35.
- Lee, M.; Hong, J. H., y Kim, K.Y. (2017). Estimating Damage Costs from Natural Disasters in Korea. *Natural Hazards Review*, 18 (4): 04017016.
- Liu, C., Guo, L., Ye, L., Zhang, S., Zhao, Y., y Song, T. (2018). A review of advances in China's flash flood early-warning system *Natural Hazards*, Springer, 92: p.619-634. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3173-7>.
- Madsen, H. y Jakobsen, F. (2004). Cyclone induced storm surge and flood forecasting in the northern Bay of Bengal. *Coastal Engineering*, 51: p.277-296.
- Manopiniwes, W. y Irohara, T. (2016). Stochastic optimization model for integrated decisions on relief supply chains: preparedness for disaster response. *International Journal of Production Research* <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2016.1211340>.
- McCormack, K., Wilkerson, T., Marrow, D., Davey, M., Shah, M., y Yee, D. (2008). *Managing Risk in Your Organization with the SCOR Methodology*. The Supply Chain Council Risk Research Team.
- Melching, C. S. y Pilon, P. J. (2006). *Comprehensive risk*

- assessment for natural hazard. World Meteorological Organization WMO/TD No. 955. United States of America.
- Navia, F. M. y Ferreira, T. M. (2018). A simplified approach for flood vulnerability assessment of historic sites. Springer Nature B.V. *Natural Hazards*, <https://doi.org/10.1007/s11069-018-03565-1>.
- Nisha de Silva, F. (2001). Providing special decision support for evacuation planning: A challenge in integrating technologies. *Disaster Prevention and Management*, 10 (1), p.11–20.
- Papalexiou s., Koutsoyiannis, D., y Montanari, A. (2011). Can a simple stochastic model generate rich patterns of rainfall events? *Journal of Hydrology* 411: p.279–289. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.10.008.
- Paul, S.H. y Sharif, H.O.(2018). Analysis of Damage Caused by Hydrometeorological Disasters in Texas, 1960–2016. *Geosciences* , 8, p.384; Doi: 10.3390/geosciences8100384 www.mdpi.com/journal/geosciences.
- Pedrozo-Acuña, A., Mejía-Estrada, P.I., Rodríguez-Rincón, J.P., Domínguez Mora, R., y González-Villareal, F. (2014). Flood Risk from Extreme Events in Mexico. *Water Resource Management Commons*. 11th International Conference on Hydroinformatics HIC, New York City, USA. City University of New York (CUNY), CUNY Academic Works. http://academicworks.cuny.edu/cc_conf_hic.
- Pettit, S., Beresford, A., Whiting, M., y Banomyong, R. (2011). The 2004 Thailand tsunami reviewed: Lesson learned. In M. Christopher & P. Tatham (Eds.) *Humanitarian logistics. Meeting the challenge of preparing for and responding to disasters* (p.103–119).
- Pettit, S. J. y Beresford, A. K. C. (2005). Emergency relief logistics: An evaluation of military, non-military, and composite response models. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 8 (4), p.313–331.
- Rashed, T. y Weeks, J. (2003). Exploring the spatial association between measures from satellite imagery and patterns of urban vulnerability to earthquake hazards. *Int. Arch Photogram Remote Sens Spat Inf. Sci.* XXXIV-7(W9): p.144–152.
- Reniers, G., Dullaert, W., Ale, B., y Soudan, K. (2005). Developing an external domino accident prevention framework: Hazwim. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 18 (3), p.127–138.
- Sheffi, Y. (2005). *The Resilient Enterprise. Overcoming Vulnerability for Competitive Advantage*. Effects of Disruptions. Massachusetts Institute of Technology, U.S.A.
- Smith, K. y Petley, D. N. (2009). *Environmental hazards assessing risk and reducing disaster*. Fifth Edition, Ed. Routledge, Taylor and Francis Group, London and New York. ISBN 0-203-88480-9.
- Soneye, A. (2014). "An overview of humanitarian relief supply chains for victims of perennial flood disasters in Lagos, Nigeria (2010-2012)". *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 4 (2) p. 179-197. Permanent link to this document: <http://dx.doi.org/10.1108/JHLSCM-01-2014-0004>.
- Thomas, A. (2003). Why logistics? *Forced Migration Review*, 18, p.4.
- Thomas, A. y Kopczak, L. (2005). From logistics to supply chain management: The path forward in the humanitarian sector, white paper, Fritz Institute, San Francisco, CA.
- UNESCO (United Nations Education, Scientific, and Cultural Organization) (2018). *Hydrometeorological Hazards. Disaster Risk Reduction*. Natural Sciences. United Nations Education, Scientific, and Cultural Organization (UNESCO). Available online: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/special-themes/disaster-risk-reduction/natural-hazards/hydrometeorological-hazards/>. Accesada en: Octubre 31, 2019.
- UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction) (2009a). *Terminology on disaster risk reduction*. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland. http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf.
- UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction) (2009b). *Second Global Platform on Disaster Risk Reduction*, Geneva: Concluding Summary by the Platform Chair. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.
- Van der Voort, M. M., Klein, A. J. J., De Maaijer, M., Van den Berg, A. C., Van Deursen, J. R., y Versloot, N. H. A. (2007). A quantitative risk assessment tool for the external safety of industrial plants with a dust explosion hazard. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 20 (4), e6, 375e386.
- Van Wassenhove, L. N. (2006). Blackett memorial lecture. Humanitarian aid logistics: Supply chain management in high gear. *Journal of the Operational Research Society*, 57 (5), p.475–489.
- Van Westen D., Alkema, D., Damen, M.C.J., Kerle, N., y Kingma N.C. (2011). *Multi-hazard risk assessment*. Guide book. First edition. United Nations University – ITC School on Disaster Geoinformation Management (UNU-ITC DGIM).
- Wang, J.J. y Ling, H.I. (2011). Developing a risk assessment model for typhoon-triggered debris flows. *Science Press and Institute of Mountain Hazards and Environment, J. Mt. Sci.* 8: p.10–23. DOI: 10.1007/s11629-011-2065-z.
- WHO Collaborating Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CREED) (2011).
- Yves Hategekimana, Y., Yu1, L., Nie, Y., Zhu, J., Liu, F., y Gu, F. (2018). Integration of multi-parametric fuzzy analytic hierarchy process and GIS along the UNESCO World Heritage: a flood hazard index, Mombasa County, Kenya. *Nat Hazards Springer Science+Business Media B.V.*, part of Springer Nature 92: p.1137–1153. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3244-9>.
- Zanuttigh, B. y Quevauviller, P. (2015). Features common to different hydrometeorological events and knowledge integration. *Hydrometeorological hazards, interfacing science and policy*. Department of Hydrology and Hydrological Engineering Brussels, Belgium. First edition. John Wiley & Sons, Ltd. Wiley Blackwell.