



PLANEACIÓN ESTRATÉGICA Y DIRECCIÓN DE TECNOLOGÍA

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
Centro Interdisciplinario de Posgrados
Investigación y Consultoría
Departamento de Ingeniería

Doctorado en Planeación Estratégica y Dirección
de Tecnología

Título de la investigación

**Desarrollo de un modelo probabilístico para la toma de
decisiones en casos de evacuación de población en riesgo por
inundación: estudio empírico aplicado en Tabasco, México.**

Tesis que para obtener el Grado de Doctor
en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología

Presenta

Miguel Ángel Balladares Sánchez

Director de Tesis: Dr. Fabián Guadalupe Rivera Trejo
Asesoras: Dra. Beatriz Pico González, Dra. Anayansi Careta Isordia

Puebla, México.

2017



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyla**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Centro Interdisciplinario de Posgrados

Investigación y Consultoría

Departamento de Ingeniería

Doctorado en Planeación Estratégica

y Dirección de Tecnología

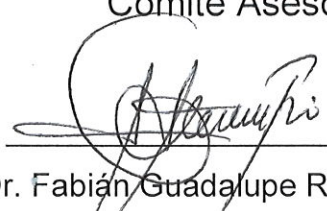
Se aprueba la Tesis:

**Desarrollo de un modelo probabilístico para la toma de decisiones
en casos de evacuación de población en riesgo por inundación:
estudio empírico en Tabasco, México.**

Nombre del Alumno

Miguel Ángel Balladares Sánchez

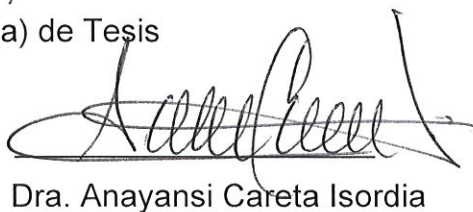
Comité Asesor


Dr. Fabián Guadalupe Rivera Trejo

Director(a) de Tesis


Dra. Beatriz Pico González

Co-Director (a)


Dra. Anayansi Careta Isordia

Asesor(a)

Puebla, México.

31 de agosto de 2017

DEDICATORIA

A Clarita, Miguel y Cely

y

A las dos familias valiosas que me cobijan y están atentas a mis proyectos personales

Agradecimientos

En primer lugar a los doctores que me guiaron durante este trabajo:

A la **Dra. Beatriz Pico González** por sus aportaciones al desarrollo de esta tesis y por ser siempre una guía moral y ejemplo para los doctorantes tabasqueños en UPAEP.

A la **Dra. Anayansi Careta Isordia** por ser el aliciente más grande a través de su curso de Toma de Decisiones en UPAEP, para la orientación de este trabajo y por sus valiosas aportaciones.

De manera especial al **Dr. J. G. Fabián Rivera Trejo**, por su calidad humana manifiesta hacia mi persona y al cual debo haber retomado el camino de la superación desde la dirección de mi tesis de maestría hasta el logro del doctorado. Por su invaluable aporte a mi formación doctoral a través de la guía como director de esta tesis.

A todos aquellos que me han tendido la mano en este trayecto y he recibido el apoyo moral para salir adelante: A mis colegas, **Juan Luis Ramírez Marroquín, Eduardo Olivares, Ernesto Rodríguez Moguel y Jesús Enrique León Jiménez**.

A los funcionarios del Instituto de Protección Civil de Tabasco y a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

A Emmanuel Munguía Balvanera y Gastón A. Priego, por compartir su visión de los desastres en Tabasco para dar fortaleza a esta investigación.

Al Dr. Fidel Ulin González y al colega Otoniel Sánchez Marín por sus valiosos comentarios al manuscrito de esta tesis.

INDICE GENERAL

Resumen

Abstract

Introducción

Capítulo 1. Planteamiento

Capítulo 2. Marco teórico

Capítulo 3. Desarrollo del modelo

Capítulo 4. Caso de aplicación para validación

Capítulo 5. Resultados

Capítulo 6. Discusión de resultados y conclusiones

Bibliografía

ANEXO A: Datos de tirantes de la estación Gaviotas II durante el evento de inundación de 2007 y otros eventos de referencia.

ANEXO B: Probabilidades de desbordamiento para diversos horizontes de planificación y diferentes grados de precisión $(\Delta h)_{pred}$, referidos al evento 2007.

ANEXO C: Árboles de decisión aplicados en la prueba de sensibilidad del modelo.

ANEXO D: Instructivo para vaciar datos en los árboles de decisión.

ANEXO E: Producción científica.

RESUMEN

Una decisión oportuna en la evacuación de personas contribuye a reducir daños materiales y pérdidas de vidas. El objetivo de esta tesis fue desarrollar un modelo de apoyo a la toma de decisiones en casos de evacuación de personas en riesgo por inundación. Se aplicaron decisiones secuenciales mediante árboles de decisión y se adoptó la metodología de evaluación directa para la determinación de los costos tangibles del evento acorde al contexto de aplicación del modelo. Se empleó la simulación Montecarlo para generar las probabilidades de desbordamiento de un río de planicie. Los resultados obtenidos se aplicaron a diferentes umbrales de desbordamiento en un suceso de inundación ocurrido en la ciudad de Villahermosa Tabasco, México en el año 2007. Los resultados obtenidos muestran una perspectiva adicional para la gestión integral del riesgo en ciudades costeras. Esta metodología es de utilidad para mejorar las decisiones en situaciones de emergencias por desbordamientos de ríos y evacuaciones masivas.

ABSTRACT

A timely decision to evacuate people helps reduce material damage and loss of life. The objective of this thesis was to develop a model to support decision making in cases of evacuation of people at risk from flooding. Sequential decisions were applied through decision trees and the direct evaluation methodology was adopted to determine the tangible costs of the event according to the application context of the model. The Monte Carlo simulation was used to generate the probability of overflowing a plain river. The results obtained were applied to different thresholds of overflowing in a flood event occurred in the city of Villahermosa Tabasco, Mexico in 2007. The results obtained show an additional perspective for the integral management of the risk in coastal cities. This methodology is useful for improving decisions in emergency situations due to river overflows and crowds evacuation.

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son fenómenos geo-peligrosos de presencia mundial los cuales provocan cuantiosos daños materiales y pérdidas de vidas humanas. Diversos autores indican que las tendencias actuales van en el sentido de sucesos de mayor agresividad debido a las alteraciones del clima a nivel global y al desarrollo creciente de las ciudades. Estos eventos igualmente causan daños en las llanuras costeras (ríos de planicie), sobre todo en los países en desarrollo en donde se le ha dado mayor importancia al desarrollo de obras de protección desde enfoques unidisciplinarios.

La revisión documental sugiere considerar a las inundaciones como problemas complejos los cuales exigen soluciones desde enfoques multidisciplinarios y graduales, sobre todo en países donde la generación de información ordenada y apta para el uso de modelos no representa una prioridad o es precaria, tal es el caso de México.

La gestión integral del riesgo incluye acciones estructurales y no estructurales. Las acciones estructurales se relacionan con la construcción de infraestructura de protección, mientras que, las no estructurales se enfocan en procesos y procedimientos, tal es el caso del proceso de evacuación de personas, como una forma de mitigación del riesgo.

Esta investigación abordó la toma de decisiones previa al desarrollo de evacuación de personas por inundación. Esto se logró por medio de un modelo probabilístico. En su desarrollo se aplicaron conceptos de decisiones secuenciales materializadas, con el uso de árboles de decisión. Se empleó el software de uso libre Treeplan.

Este trabajo se organizó en seis capítulos. En el capítulo 1 se abordaron los aspectos básicos del estudio, a saber: el nicho de oportunidad de la investigación a partir de la revisión bibliográfica, sustentada el diseño del modelo propuesto aprovechando experiencias de otros países y la adaptación al contexto particular de interés; se planteó la problemática alrededor de las decisiones en evacuación de gran escala, así como los objetivos que guían el desarrollo del trabajo, sus alcances, sus limitaciones y la forma en que éste se abordó.

El capítulo 2 describe el marco teórico que sustenta el desarrollo del modelo. Su mayor parte está orientado a describir los modelos desde su concepción más sencilla hasta las

aplicaciones más sobresalientes. Igualmente se le confiere importancia a la toma de decisiones para casos de emergencias.

La parte metodológica se describe en el capítulo 3 y consiste en: el diseño de investigación seleccionado, el proceso de operacionalización de las variables sujetas a estudio, la validación y aplicación del instrumento de recopilación de datos de campo.

Por su parte el capítulo 4 describe los resultados obtenidos del proceso de operacionalización de variables planteada en el capítulo tercero y su aplicación a una muestra de estudio. En el capítulo 5 se muestran los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología desarrollada.

Finalmente, en el capítulo 6 se emiten las conclusiones y recomendaciones obtenidas a partir del desarrollo y aplicación del modelo.

Capítulo 1. PLANTEAMIENTO

1.1 Planteamiento del problema.

Las inundaciones son uno de los fenómenos de mayor riesgo en el mundo por las afectaciones que ocasionan en extensiones territoriales densamente pobladas. Se estima que el 80% de los desastres en el mundo, son de origen meteorológico (OMM, 2006) El informe SREX en 2012 (Kundzewicz y Gerten, 2015) señaló que las “inundaciones de la muerte” cobraron en promedio alrededor de 50 víctimas por evento en Madagascar, Níger, Nigeria, Bangladesh, China, India, Corea del Norte, Corea del Sur, Filipinas, Rusia, Argentina, Estados Unidos y Haití. Adicionalmente, las inundaciones y los problemas derivados de éstas, se incrementan de forma paralela con el crecimiento poblacional y económico en las ciudades. Lo que ocasiona un incremento en las condiciones de vulnerabilidad y costos en situaciones de emergencia (Tanako, 2012) (Forbes-México, 2015). Se reconoce, pues la peligrosidad de las inundaciones y su presencia a nivel mundial; sin embargo, tienen una mayor concentración en llanuras costeras, las cuales están irrigadas por ríos de planicie (Meza-Padilla *et al.*, 2015) con alta concentración de población que emigra hacia estas zonas en busca de desarrollo (Montoya, Castillo y Sanchez, 2011). En muchas de estas zonas se carece de obras de protección y si existen, solo protegen ciertas zonas de interés establecidas por su importancia económica y estratégica. Sostienen ciertas actividades económicas como serían aquellas que se derivan de la explotación de petróleo y gas natural (Perevotchkova y Lezama, 2010). Por lo tanto, cuando ocurren desbordamientos naturales en estas regiones los daños son cuantiosos (Garnica y Alcántara, 2004; Tanako, 2012).

Si bien mitigar los daños por las inundaciones requiere combinar acciones estructurales y no estructurales (Ynestroza y Rojas, 2009), en la mayoría de los planes de mitigación de inundaciones en países en desarrollo se ha dado mayor importancia al desarrollo de infraestructura con la idea firme de que las grandes obras civiles pueden resolver, por sí solas, los problemas ocasionados por las inundaciones (Deltares, 2009). Las acciones no estructurales incluyen aquellas acciones que permiten reducir la vulnerabilidad de la población: acciones de prevención, mejoramiento de los sistemas de alerta, preparación financiera, entre otras igualmente importantes como el desarrollo de modelos

probabilísticos de apoyo a las decisiones antes, durante y post de un evento de inundación. Éstos últimos ofrecen una metodología para evaluar las pérdidas potenciales por eventos adversos antes de que estos ocurran (Haq *et al.*, 2012; Yamin *et al.*, 2013; Poussin *et al.*, 2014). El uso adecuado de estos modelos proporciona la información adecuada y oportuna en estudios a priori para la toma de decisiones.

La evacuación de personas de zonas de peligro representa la acción más inmediata para salvaguardar en primera instancia la vida. Sin embargo, las decisiones que se deben tomar para iniciar este proceso pueden verse complicadas por los escenarios posibles que pueden desarrollarse por ejemplo: a) Una evacuación anticipada, en la que el evento de inundación no se desarrolla; b) Una evacuación retardada o realizada durante el evento de inundación o c) Una evacuación anticipada, en la que el evento sí ocurre. Cada escenario contempla repercusiones tanto sociales como económicas. El caso *a*, implica un costo económico debido a los movimientos de traslados de bienes y personas; además, desde punto de vista social, la población pierde confianza y credibilidad en las autoridades, por lo que su reacción ante otros eventos puede verse afectada. El caso *b*, es el más grave, pues resulta muy costoso evacuar en medio de una inundación; además, de que hay mayores probabilidades de pérdidas humanas y mayor cantidad de bienes por no estar preparados. El caso *c*, es el caso ideal, evacuar a tiempo y con la mayor certeza posible ante un evento de inundación, lo que reduce significativamente la pérdida de vidas y bienes materiales. Sin embargo, el escenario *c* puede presentar otra complicación: evacuar con demasiada anticipación es muy costoso pues aumentan los costos de operación. Por lo tanto la decisión de evacuar en el momento oportuno se vuelve primordial.

En cuanto a la toma de decisiones que se relacionan con la evacuaciones de gran escala en casos de inundación (Yang *et al.*, 2012; Kailiponi, 2010; Varela, *et al.*, 2014) confirman, que en situaciones de emergencia, contar con un modelo de toma de decisiones es de vital importancia; ya que de ello depende en gran medida la posibilidad de atenuar los impactos de estos eventos sobre la población y sus bienes.

Ante la relevancia que tiene para el desarrollo de los países, mitigar los efectos de las inundaciones, se han desarrollado alrededor del mundo diversos modelos de apoyo a la toma de decisiones en caso de evacuación en diferentes ámbitos, con diversos grados de

sofisticación y atención a necesidades variadas en contextos particulares (Jing-Hong, 2014) (Werner *et al.*, 2013). Sin embargo, en lo que respecta a países en desarrollo, la aplicación de modelos de apoyo a las decisiones es muy precaria (Charalambous *et al.*, 2013). Para tratar de comprender esa realidad, cobra sentido considerar al problema de las inundaciones como un *sistema complejo* (García, 2000; Gaudiani, 2015) en donde el desarrollo de soluciones, evolucionan en el tiempo de forma similar a la construcción del conocimiento (García, 2011). Ello significa que en cualquier contexto, el desarrollo de modelos debe ser gradual considerando su antecedente y la disponibilidad de datos. Lo anterior implica una ruta lógica para cualquier aportación en materia de modelos de apoyo a las decisiones: en primer lugar, se necesita optar por herramientas sencillas para acercamientos preliminares al problema de decisión cuando los sistemas de información son limitados (Balladares, Pico-González y Careta-Isordia, 2016). En segundo lugar, se requiere indagar sobre los principios fundamentales de los modelos de apoyo a las decisiones aplicados en países desarrollados a fin de encontrar, a partir del análisis, los fundamentos básicos de operación para aplicarse a contextos menos sofisticados.

1.2 Preguntas de investigación

La necesidad de desarrollar modelos probabilísticos para apoyar decisiones previas a la evacuación de población en riesgo por inundación derivadas del desbordamiento de ríos de planicie, resulta en una problemática mundial y prioritaria (Llorente *et al.*, 2009). Donde, la clave está en: ¿Cómo desarrollar un modelo probabilístico de apoyo a la toma de decisiones, que aporte los elementos necesarios para indicar el tiempo de evacuación idóneo y minimice los riesgos e impactos sociales y económicos?

Para dar respuesta a la pregunta de investigación principal, se plantearon las siguientes interrogantes que guiaron el desarrollo del modelo:

1. ¿Qué criterios predominan en la toma de decisiones en casos de evacuación de población en riesgo por inundación?
2. ¿Cuál es el modelo adecuado a implementar para la toma de decisiones, que apoye las decisiones en casos de evacuación de personas por inundación ocasionada por el desbordamiento de un río de planicie?

3. ¿Qué elementos, información o datos, se requieren para desarrollar el modelo seleccionado y que apoye las decisiones en casos de evacuación de población en riesgo por inundación?

4. ¿De qué manera se puede simplificar, ante la demanda urgente de ayuda o atención, la generación de datos para un modelo de toma de decisiones?

1.3 Propósito de la investigación

Desarrollar, implementar y aplicar un modelo probabilístico que apoye la toma de decisiones ante un evento de evacuación de una población en riesgo por inundación debida al desbordamiento de un río de planicie.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un modelo probabilístico de apoyo a la toma de decisiones para casos de evacuación de población en riesgo de inundación por desbordamiento de un río de planicie.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Identificar las variables necesarias para el desarrollo del modelo acorde al contexto de aplicación.
2. Seleccionar y desarrollar el modelo de apoyo a la toma de decisiones de acuerdo al contexto de aplicación.
3. Generar la metodología para dar sentido a las variables de entrada al modelo de acuerdo al contexto de aplicación.
4. Aplicar el modelo a un evento de inundación para su validación.

1.5 Justificación de la investigación

En el marco del desarrollo sostenible, un programa de gestión de riesgo contra inundaciones se fundamenta en cinco acciones: 1) identificación y evaluación del riesgo, 2) reducción del riesgo, 3) protección financiera, 4) preparación y respuesta al desastres; y 5) recuperación post desastre (Ghesquiere y Mahul, 2010). En lo que se refiere a inundaciones en México y muchos países en desarrollo, las acciones se han enfocado principalmente al desarrollo de estrategias estructurales, concediéndole por lógica, menor importancia a las no estructurales (SENADO. Comisión de Asuntos

Hidráulicos, 2008); aunque hay que reconocer que se ha ido transitando paulatinamente de actitudes reactivas a actitudes proactivas respecto al riesgo por inundaciones (Musseta, 2009), pero se considera insuficiente dado que se requieren estrategias para la gestión del riesgo ante el cambio climático. En ese sentido, el desarrollo del modelo propuesto contribuirá a reducir el riesgo y a una mejor preparación y respuesta ante cualquier desastre, particularmente en el caso de inundación debida al desbordamiento de ríos de planicie.

1.6 Alcances y limitaciones

1.6.1 Alcances

El modelo apoyará la toma de decisiones en casos de evacuación de personas en riesgo de inundación. Se parte del supuesto de evacuaciones a gran escala y lento desarrollo.

Aportaciones sociales:

1. Clarificar sobre los procesos de toma de decisiones en las dependencias oficiales en casos de inundación, para salvaguardar la integridad de la población de ciudades costeras en caso de desastres por inundación.
2. Detectar a partir del desarrollo del modelo, las oportunidades para nuevos estudios en el ámbito de la toma de decisiones para casos de emergencia.

Aportaciones prácticas:

1. Mejorar la capacidad de análisis de los comités gubernamentales en procesos decisorios.
2. Mejorar la competitividad de las dependencias oficiales responsables de atención a desastres.

1.6.2 Limitaciones

El modelo desarrollado se aplicó a una zona en específico (Distrito I de la ciudad de Villahermosa, Tabasco). Debido a que cada región tiene características hidrográficas y orográficas particulares, no es posible aplicarlo de manera directa a otras regiones. Sin embargo, la metodología si es aplicable a cualquier región.

No se debe perder de vista que, es una herramienta de apoyo a la toma de decisiones; por lo que la decisión final siempre dependerá del criterio de quien o quienes decidan aplicarla.

1.7 Organización del estudio

1.7.1 Acercamiento preliminar

Como actividades previas a esta investigación, se realizaron varias reuniones con funcionarios de la Dirección de Protección Civil del Estado de Tabasco. Se aplicaron: incursión directa, observación descriptiva e interpretativa en acciones de carácter incluyente e interactivo, tal como lo recomiendan Hernández *et al.* (2010). Esto con la finalidad de identificar los posibles problemas relacionados con la toma de decisiones (Daymon y Holloway, 2002). En una primera inmersión inicial se expusieron ante los mandos altos y medios de la dependencia, la necesidad de contar con modelos de apoyo a las decisiones para la gestión del riesgo por inundación en el Estado de Tabasco. Con este fin se participó en mesas de trabajo para la integración del Plan Estatal de Desarrollo (Tabasco, 2014). Con esta primera acción se hizo un diagnóstico relacionado con los procesos de toma de decisiones, llevados a cabo en la actualidad. En una segunda inmersión se realizaron entrevistas directas a grupos de interés, para conocer experiencias (*lessons learned*) del personal (ONU, 2007) y datos locales relacionados con los procesos de evacuación. Los resultados obtenidos se plasman en las observaciones que se enumeran a continuación:

1. Inexistencia de modelos de ayuda a la toma de decisiones en casos de evacuación de población en riesgo.
2. Acciones de carácter reactivo ante la amenaza; es decir, se ha actuado en consecuencia de un evento Pocas acciones no estructurales, en cuanto a la gestión del riesgo en sus elementos esenciales Centralización en acciones estructurales, construcción de obras de defensa.
3. Conocimiento del desarrollo (curvas de evacuación) de procesos de evacuación para diversos eventos locales (*lessons learned*).

Estos resultados y el desempeño de las dependencias documentados en la atención de los últimos eventos en el estado de Tabasco, México (Comisión de Asuntos Hidráulicos del SENADO, 2008), muestran una necesidad y una oportunidad para aportes en cuanto al desarrollo de modelos de apoyo a las decisiones. .

1.7.2 Abordaje

Detectada la necesidad del desarrollo del modelo, se procedió al diseño de la investigación para apoyar el desahogo de los objetivos planteados. Para este propósito se plantearon una hipótesis general y cuatro hipótesis específicas.

Hipótesis general

Es posible desarrollar un modelo probabilístico de apoyo a la toma de decisiones en casos de evacuación de población por desbordamiento de un río de planicie utilizando árboles de decisión.

Hipótesis específicas

H1: Las principales variables de un evento de inundación por desbordamiento de un río de planicie son los costos y las probabilidades de ocurrencia.

H2: Es posible generar los principales costos tangibles derivados de un evento de inundación por desbordamiento de un río de planicie (*variable independiente 1*).

H3: Es posible determinar las probabilidades de desbordamiento de un río de planicie para alimentar un modelo probabilístico de apoyo a las decisiones (*variable independiente 2*).

H4: Es posible aplicar árboles de decisión para materializar el desarrollo de un modelo para apoyar decisiones en casos de evacuación de población en riesgo de inundación (*variable dependiente*).

En el desarrollo del modelo se usaron dos fuentes importantes de información:

- 1) Información documental, tanto del estado del arte como información específica del entorno de aplicación.
- 2) Información de campo recolectada mediante la aplicación de un instrumento.

1.7.3 Diseño de investigación

Este estudio se encuadró en la perspectiva de la toma de decisiones, particularizando en las decisiones bajo riesgo. Éstas asocian la probabilidad de ocurrencia de ciertos estados de la naturaleza y los costos asociados a dicha eventualidad (Ley, 2001).

Dada la complejidad y el carácter *holístico* de los problemas asociados a la toma de decisiones en casos de desastres y, particularmente en casos de inundación, en llanuras costeras, la presente investigación se planteó desde un *enfoque cualitativo-cuantitativo, inductivo* de carácter *exploratorio*.

De acuerdo a la naturaleza de esta investigación se decidió aplicar el enfoque mixto dado que utiliza información cualitativa y cuantitativa a la vez.

La información cualitativa tuvo soporte en la aplicación de instrumentos a la población muestra, mientras que la información cuantitativa se generó a partir de investigación documental y el tratamiento de datos oficiales y datos particulares del contexto de aplicación y un suceso en particular. Ambas partes se apoyaron mediante un proceso de operacionalización de variables.

Considerando que se pretendía abordar ciertos aspectos relacionados con la toma de decisiones en un contexto particular poco estudiado, se propuso una investigación del tipo exploratorio.

Por lo anterior, y dada la característica de transversalidad de esta investigación, se decidió como apropiado para su desarrollo el tipo de diseño no experimental.

1.7.3.1 Población

El estado de Tabasco es una de las entidades federativas de la región Sureste de la República Mexicana, su extensión territorial es de 24,661 km², representa 1.26 % de la superficie total del país. Ocupa el 24° lugar en extensión territorial respecto a los demás estados de la República Mexicana.

Tabasco constituye una de las regiones de mayor precipitación pluvial en América. La abundancia de escurrimiento superficial con distribución aparentemente desordenada,

ha dado lugar a la formación de cuerpos de agua de dimensiones variadas, lo mismo que llanuras de inundación, del 20 al 25% de la región permanece inundada la mayor parte del año y cada 4 ó 5 años se inunda aproximadamente el 80% del territorio. Ante situaciones de inundación, la organización de la logística parte de la conformación de un comité intergubernamentales de orden técnico y político. Los principales actores políticos involucrados son los titulares del ejecutivo estatal, algunas secretarías, instancias federales como la SEDESOL, CFE, entre otros. En lo que refiere a personal técnico involucrado están: personal de Protección Civil, de la Comisión Nacional del Agua, de la SEDENA, de instituciones académicas, entre otras; las cuales conducen la parte operativa de la contingencia. Para efectos de esta investigación, la población de estudio son los organismos operativos dedicados a apoyar las labores de rescate en casos de inundación por desbordamiento de ríos como son Protección Civil, Cruz Roja, ONG's, SEDENA, Instituciones académicas, Gobiernos estatales y municipales, entre otros.

1.7.3.2 Muestra

Las dependencias que integraron la muestra representativa consideradas para este trabajo fueron: Unidades de Protección Civil del Edo de Tabasco, la Comisión Nacional del Agua (oficina Tabasco) y la SEDENA (37 Batallón de infantería). El tipo de muestra que se utilizó en esta investigación fue de tipo no probabilística, ya que en las muestras de este tipo, la elección de los sujetos no depende de que todos tengan la misma probabilidad de ser elegidos, sino de la decisión de un investigador o grupo de encuestadores (Hernández *et al.*, 2010).

Capítulo 2. MARCO TEÓRICO

2.1 El concepto de modelo desde la generalidad

El concepto o categoría de modelo es un concepto de uso cotidiano, necesario para el entendimiento científico (Gallego, 2004) con una pluralidad reconocida de conceptos epistemológicos en torno a su definición.

Una definición básica considera a los modelos como simplificaciones y representaciones idealizadas de los sistemas naturales (Del Re, 2000), o bien como una construcción humana utilizada para conocer, investigar y comunicar (Raviolo *et al.*, 2011).

La definición de Gallego (2004) resulta más accesible en términos de darle mayor sentido al definir los modelos como herramientas del pensamiento científico, los cuales pueden ser matemáticos o físicos con materialidad o no, que a su vez pueden ser icónicos, analógicos o simbólicos. O bien, de acuerdo a su tipología (Chamizo, 2009), pueden ser mentales, materiales o matemáticos; de acuerdo al contexto en que se construyen pueden ser didácticos o científicos y de acuerdo a la realidad que representan pueden tomar la forma de idea, objeto, fenómeno o sistema.

Finalmente, es importante destacar que todos los modelos se construyen con un objetivo específico sobre todo para razonar, sobre conceptos o ideas abstractas o hacer explicaciones sobre situaciones complejas (Justi, 2006).

2.2 Los modelos como herramientas para representar la complejidad de los conceptos asociados a la gestión integral del riesgo por inundaciones.

2.2.1 El uso de modelos en la gestión del riesgo

La gestión del riesgo de acuerdo a Yamin *et al.*,(2013) se refiere a un conjunto de acciones y procesos sociales orientados al conocimiento, reducción y transferencia del riesgo (protección financiera), que son medidas *ex ante*, y al manejo de desastres, que

incluye la preparación y la respuesta a las emergencias, la rehabilitación y la reconstrucción, que son medidas *ex post*.

Este concepto tiene su origen en el Marco de Acción de Hyogo 2005-2015, firmado en 2005 por 168 países miembros de la Naciones Unidas cuyas acciones prioritarias se resumen en:

1. Establecer como una prioridad nacional la reducción de riesgos de desastres.
2. Mejorar el conocimiento de los riesgos y los mecanismos de alerta temprana.
3. Desarrollar una cultura de seguridad y resistencia.
4. Reducir el riesgo subyacente en sectores clave.
5. Fortalecer los preparativos para la respuesta.

La gestión del riesgo es entonces una estrategia integral de planificación para minimizar el impacto de los eventos destructivos sobre la población, los bienes y los procesos socioeconómicos. La gestión integral del riesgo requiere abordarse desde cinco frentes o componentes principales de acuerdo a (Ghesquiere y Mahul, 2010).

1. Identificación y evaluación del riesgo
2. Reducción del riesgo
3. Protección financiera
4. Preparativos y respuesta a desastres
5. Recuperación post desastre

Ante la interrogante de cómo y dónde aplicar los modelos probabilísticos en la gestión del riesgo, una gran mayoría de éstos tienen cabida en la identificación y evaluación del riesgo pues ofrecen una metodología para evaluar las pérdidas potenciales por eventos adversos antes de que estos ocurran (Haq *et al.*, 2012; Yamin *et al.*, 2013; Poussin *et al.*, 2014). El uso adecuado de estos modelos proporciona la información adecuada y oportuna en estudios a priori para la toma de decisiones. Con las herramientas informáticas modernas, el avance de los sistemas de información geográfica (SIG) y el desarrollo de software potentes de uso libre, los instrumentos para modelar el riesgo de manera probabilista están actualmente al alcance de gobiernos y particulares (Suarez y Linnerooth-Bayer, 2011).

2.2.2 Los modelos aplicados a la evacuación de población en riesgo por inundación

Respecto a decisiones apoyadas por modelos en procesos de evacuación por inundación, existen variadas aportaciones. Una de ellas es la investigación desarrollada por Frieser (2004) en Holanda. Ésta resulta de suficiente interés desde el punto de vista práctico pues asocia los costos y probabilidades de ocurrencia de un evento como insumos básicos de un modelo probabilístico de toma de decisiones. Frieser empleó el concepto de decisiones secuenciales considerando los costos por daños y probabilidades de ocurrencia de eventos catastróficos. Las probabilidades que utilizó para alimentar los árboles de decisión fueron obtenidas de la *probabilidad de falla* de bordos de protección. Los *costos* tangibles directos los dedujo a partir del importe económico recibidas del gobierno por las familias afectadas durante un evento ocurrido en Holanda en 1995. Planteó, igualmente, que, todo proceso de evacuación se asocia a una *curva de evacuación* o *curva de respuesta de la población* y que esta respuesta depende de factores como el tipo de terreno, el número de personas a evacuar, la naturaleza del evento, entre otros.

Los procesos de evacuación y las etapas previas coinciden generalmente, independientemente del evento que los motive. Una clarificación sobre estas etapas en conjunto fue presentada por Jonkman *et al.* (2008). Estas etapas son: *pronóstico, alerta, respuesta y evacuación*.

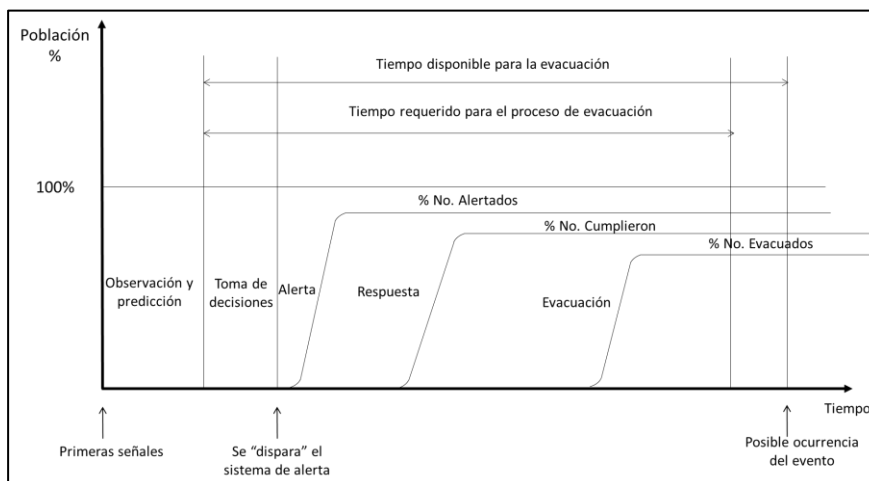


Figura 2-1. Proceso de evacuación. Fuente: Adaptada de Jonkman *et al.*, (2008)

Las fases del proceso mostrado en la figura, puede resumirse en torno a las decisiones que se toman en diferentes momentos: a) con base en la información del pronóstico del evento, se decide en qué momento iniciar la fase de alerta; b) iniciada la fase de alerta, la población afectada decide si responde o no a estar de acuerdo a la percepción personal del riesgo que se tenga en ese momento; c) se toman decisiones durante el proceso de evacuación de personas respecto a la definición de los albergues destino y la ruta de evacuación que habrá de tomarse para llegar a ellos. Cabe destacar que el momento en que se toma la decisión juega un papel determinante en cuanto al desarrollo del evento, así entre más temprano se actué, mejor será la respuesta, siempre y cuando se disponga de información de calidad; es decir, evacuar en medio de una inundación es más costoso y peligroso que hacerlo antes de la misma; sin embargo, evacuar y que no se presente una inundación, aparte de tener un costo, le resta credibilidad a los organismos encargados de la seguridad y protección.

2.3 La toma de decisiones para casos de desastre apoyadas en modelos

2.3.1 El proceso decisorio desde la perspectiva del desastre

Es indiscutible que la capacidad de decidir es una condición que reafirma la jerarquía del hombre sobre las demás especies animales. El ser humano toma decisiones a diario: desde situaciones derivadas de la cotidianeidad hasta situaciones que pueden poner en riesgo la vida misma (Ley, 2001).

De acuerdo a Korstanje (2010), los procesos de decisión se pueden dividir o clasificar como:

1. Procesos de decisiones por mayoría
2. Decisiones por jerarquía
3. Decisiones proporcionales
4. Decisiones por consenso

Sao Pedro (2009) refirió que el proceso decisorio es un *proceso cognitivo* que requiere del individuo que decide coherencia y abstracción. Definió dos tipos de decisiones: decisiones constructivistas, que se deben entender como aquellas que se derivan de situaciones de rutina (*lessons learned*) y decisiones complejas; entendidas estas últimas como aquellas que significan para el que decide una alta responsabilidad de orden ético, económico y humanístico.

Respecto a los procesos decisorios relacionados con procesos de emergencia, Frieser (2004) distinguió tres etapas: I) recepción de la información o alerta respecto al riesgo, II) percepción de la información del riesgo y III) la respuesta.

Al respecto se han documentado diferentes experiencias, que sustentan la importancia de estas tres etapas durante el proceso de evacuación para tomar decisiones; sin embargo, la percepción del riesgo es crucial para decidir el momento idóneo para iniciar el proceso tanto a nivel personal como de grupo en el sentido de que éstas dependen de la información recibida y que ésta a su vez, determina la calidad de la respuesta ante la urgencia.

2.3.2 La toma de decisiones desde la perspectiva personal

Ante la disyuntiva de quién decide o a quién le toca decidir, ante situaciones complejas, se vislumbran dos únicas posibilidades o posiblemente la combinación de ambas: las decisiones personales y las decisiones de grupo.

Los trabajos precursores de Slovic (2002), reportan que la percepción sobre el riesgo juega un papel importante en las decisiones que la gente toma.

Sobre la percepción del riesgo, Weber (2001), estableció tres formas de medir la percepción del riesgo: I) medición axiomática, II) paradigma socio-cultural y III) paradigma psicométrico.

Con respecto al paradigma socio-cultural, la argumentación de Llanes (2012) afirmó que, es la población según su percepción espacial, la que decide qué parte del espacio ocupar y cuánta será su exposición al riesgo al asentarse sobre zonas inundables. Estos razonamientos conllevan a justificar los posibles conflictos en cuanto a toma de decisiones en las dependencias oficiales en muchos países en desarrollo. En el caso específico de México, la jerarquía de un Secretario de Estado o cualquier Gobernador tiene un peso significativo en las decisiones en casos de desastre (decisiones por jerarquía). Esta investigación aporta elementos de decisión independientemente de quién o quienes decidan pues no es objeto de estudio el caso.

2.3.3 La toma de decisiones desde la perspectiva institucional

En las decisiones grupales, Slovic (2002) definió dos perspectivas en la decisión: una como empresa política y otra como actividad técnico- científica, donde la percepción del riesgo también juega un papel importante en la toma de decisiones, pues se mezclan asuntos relacionados con valores, procesos, poder y confianza.

Reporta de igual forma sobre los posibles conflictos al momento de decidir en situaciones de emergencia cuando afirma que, la percepción del riesgo yace en el centro de los desacuerdos sobre la mejor manera de proceder entre los expertos técnicos y la población en general; es decir, no existe la sensación de pertenencia por parte de la población respecto a la toma de decisiones.

Por otra parte, en situaciones de emergencia o logística humanitaria estudiadas por Gaytán *et al.* (2012), las *decisiones multicriterio* tienen suficiente aceptación toda vez que, para estos casos, varios criterios o variables suelen entrar en conflicto.

Dado el ámbito complejo en torno a las emergencias, las decisiones en las instancias gubernamentales se ubican, mayormente, en la perspectiva de empresa política (Slovic, 2002) y no como una actividad técnico-científica. Dada esta situación, las herramientas *multicriterio* como el AHP (Analysis Hierarchy Process) y el método Scoring, capitalizan de forma práctica el grado de experiencia de los tomadores de decisiones y

son herramientas muy sencillas en su implementación y comprensión, sobre todo en ambientes grupales de decisión.

En cuanto a decisiones en instancias públicas la definición de (Arsham, 2015), establece un criterio suficiente cuando afirma: *“Tomar una decisión cuando uno tiene una razón por lo que puede ser sancionada por la ley y la evidencia pública. Este tipo de racionalidad es la Racionalidad basada en el Proceso, es decir, el medio debe justificar los fines, dentro del imperio de la ley pertinente. Tiene que ser una decisión responsable y defendible”* En este trabajo se da por hecho que se tienen a disponibilidad datos básicos para generar alternativas de solución. De no ser así, se dan las pautas para hacerlo. Sin embargo, en la práctica y ante la demanda urgente de ofrecer soluciones a la población, otras metodologías, como las descritas anteriormente, pueden apoyar el proceso de ayuda.

2.3.4 Modelos de toma de decisiones

En general, la logística humanitaria ha aportado diferentes modelos para resolver, en casos de desastres, lo relativo a: alertas, establecimiento de rutas seguras para la evacuación y el suministro, optimización de los tiempos de entrega de suministros básicos como alimento y medicinas, la asignación de albergues, optimización de tiempos de evacuación, minimización de costos de apertura de albergues, entre otros (Gaytán *et al.*, 2012).

Estos modelos pueden caracterizarse de dos formas generales:

Modelos determinísticos

Un modelo determinístico se define como un modelo matemático donde se espera que las mismas entradas produzcan invariablemente las mismas salidas, eliminándose la posibilidad de la existencia del azar o el principio de incertidumbre. En este tipo de modelos se pueden controlar los factores que intervienen en el estudio del proceso o fenómeno y por tanto se pueden predecir con exactitud sus resultados.

En cuanto uso de estos modelos se pueden encontrar aplicaciones en medicina (Montesinos-López y Hernández-Suárez, 2007), gestión de inventarios (Bustos - Flores y Chacón- Parra, 2012), entre otras aplicaciones importantes.

Modelos probabilísticos

Las decisiones bajo riesgo se asocian a probabilidades de ocurrencia de ciertos estados de la naturaleza que afectan o tienen influencia sobre algunas variables de interés como una inversión, la elección de una política, la elección de un curso de acción, etc. (Alvarez, 2005).

La modelación probabilística está basada, principalmente en la estadística para la evaluación de la probabilidad de eventos incontrolables (o factores), así como la evaluación de los riesgos de una decisión (Campos-Aranda, 2014). Los modelos probabilísticos son vistos de forma similar a un juego ya que se basan en resultados esperados. En el modelado probabilístico, el riesgo significa incertidumbre para la cual se conoce la distribución de probabilidad.

El dominio de los modelos de análisis de decisión se ubica entre dos casos extremos como lo plantea el trabajo de Roselló (2004). Esta posibilidad depende del grado de conocimiento que se tiene sobre el resultado de nuestras acciones, un "polo" en esta escala es determinista. El "polo" contrario es pura incertidumbre. Entre estos dos extremos los problemas se consideran bajo riesgo. La idea principal aquí es que, para cualquier problema dado, el grado de certeza entre los tomadores de decisiones varía dependiendo de la cantidad de información que cada uno tenga sobre el mismo problema. Esto refleja la posibilidad de una solución diferente por cada persona. Cuando se utiliza la probabilidad para expresar su incertidumbre, el lado determinista tiene una probabilidad de 1 (o cero), mientras que el otro extremo tiene una salida (todos igualmente probable) de probabilidad. Por ejemplo, si se está seguro de que se produzcan (o no ocurrencia) de un evento, se utiliza la probabilidad de uno (o cero). Si no está seguro, y utilizaría la expresión "Realmente no lo sé", el evento puede o no ocurre con una probabilidad del 50%. Esta es la idea de que la evaluación de la probabilidad bayesiana es siempre subjetiva. Es decir, la probabilidad siempre depende de *cuánto* los tomadores de decisiones saben previamente. Si alguien sabe todo lo que hay que saber, entonces la probabilidad divergirá ya sea a 1 ó 0 (Tabla 2-1). Las situaciones de decisión con incertidumbre plena tienen el mayor riesgo.

Tabla 2-1. La probabilidad asociada a los modelos.

Ignorancia	Situación de riesgo	Conocimiento previo suficiente
Modelo de incertidumbre pura	Modelo probabilístico	Modelo determinístico

Fuente: Roselló (2004)

Por otra parte, muchos ejemplos gerenciales, involucran decisiones en secuencia. Cuando una situación de decisión requiere que se tome una serie de decisiones, el abordaje mediante una tabla de pago no es útil para visualizar las múltiples capas de decisiones. Para ello se opta por abordaje del problema mediante árboles de decisión (Quijada-Alarcón *et al.*, 2012).

Al respecto Berlanga *et al.*, (2013) definieron los árboles de decisión como una técnica estadística para la segmentación, estratificación, predicción, reducción de datos, filtrado de variables, identificación de interacciones, fusión de categorías y de variables continuas. Los trabajos sobre predicción de inundaciones (Frieser, 2004) en Holanda aportan ejemplos muy valiosos. En este trabajo se analizan situaciones de riesgo que involucran la probabilidad de que ciertos hechos de la naturaleza ocurran y el costo respectivo. Por lo tanto se hace evidente el uso de los árboles de decisión para resolver este tipo de problemas pues asocian los tres elementos importantes para la toma de decisiones en casos de desastres: probabilidad de ocurrencia, costos en que se incurre en casos de que éstos sucedan y la posibilidad de plantear diferentes horizontes de planificación (Clement, 1995).

La simbología asociada a la construcción de los árboles de decisión sugerida por Tree Plan (Treeplan, 2017) es la siguiente:

- **Nodo de decisión:** indica que una decisión necesita tomarse en ese punto del proceso. Está representado por un cuadro.
- **Nodo de probabilidad:** indica que en ese punto del proceso ocurre un evento aleatorio. Está representado por un círculo.
- **Nodo terminal:** indica que todos los casos tienen el mismo valor para la variable dependiente. Es un nodo homogéneo que no requiere ninguna división adicional, ya que es “puro”.

- **Rama:** muestra los distintos caminos que se pueden emprender cuando tomamos una decisión o bien cuando ocurre algún evento aleatorio. Refleja los resultados de las posibles interacciones entre las alternativas de decisión y los eventos.

Los arboles de decisión han sido aplicados con éxito en diferentes campos como la ingeniería, la medicina, las finanzas, etc. (Quijada-Alarcón *et al.*, 2012).

Se han desarrollado modelos para apoyar las decisiones antes, durante y después de un suceso. Sin embargo, las decisiones a tomar durante una evacuación, tienen lugar: antes, y durante un suceso; aunque, como ya se ha indicado, lo más conveniente es actuar antes.

En la Tabla 2-2 se describen, de manera sintética, algunos modelos simples de apoyo a la toma de decisiones que pueden apoyar decisiones previas a los procesos de evacuación.

Tabla 2-2 Análisis comparativo de modelos de apoyo a las decisiones previas a un suceso.

Autor	Nombre/tipo	Metodología/herramienta aplicada	Contexto de aplicación	Entradas al modelo	Salidas del modelo
(Frieser, 2004)	Modelo probabilístico de toma de decisiones	Arboles de decisión	Desbordamiento de diques en Holanda	Probabilidades de ocurrencia del suceso y costos tangibles	Costo mínimo de actuación
(Yang et al., 2012)	Simulación de flujo peatonal durante una emergencia	Ecuaciones de Euler de la dinámica de fluidos	Incendio en Optical Valley Plaza	Número de personas en proceso de evacuación y las rutas de evacuación	Representación visual de la densidad de flujo de personas
(Kailiponi, 2010)	Modelo de decisión basado en ERGO (Evacuation Responsiveness by Government Organizations)	Metodología MAUT (Teoría de la Utilidad Multi Atributo)	Evacuación por desbordamiento de diques (Aplicable en 7 países de la Unión Europea y Japón)	Probabilidad de falla, costos tangibles, y objetivos de las decisiones de evacuación,	Cuatro posibles cursos de actuación: no hacer nada, difundir el peligro, ordenar una evacuación leve, ordenar una evacuación con urgencia
(Varela, Rodrigues y Guedes, 2014)	Modelo de apoyo a la toma de decisiones en caso de hundimiento de un barco de pasajeros	Arquitectura de cómputo distribuida para generar dos módulos: Módulo de entorno virtual y Módulo de inundación progresiva	Evacuación de personas en casos de hundimiento de una embarcación de pasajeros	Dimensiones de las cabinas de pasajeros y demás compartimentos de la embarcación, flujo de agua introduciéndose al caso del barco	Identificación de zonas de riesgo. Localización de compartimentos aislados Identificación de rutas de evacuación para las personas

Fuente: Elaboración propia (2017) a partir de la revisión bibliográfica,

De los modelos expuestos en la Tabla 2-2, se deducen algunas características de simplicidad que son factibles de replicarse en contextos donde la generación de información para alimentar los modelos de apoyo a las decisiones es limitada. Por ejemplo, el modelo probabilístico de toma de decisiones desarrollado por Freiser (2004), es factible de replicarse al contexto de desbordamiento de ríos en llanuras costeras por tres razones básicas: 1) el desbordamiento de diques provoca, igualmente, evacuaciones de gran escala, 2) el procedimiento descrito para la estimación de costos

tangibles son susceptibles de simplificarse y adaptarse a otros contextos, y 3) la aplicación del concepto de decisiones secuenciales apoyadas por la herramienta árboles de decisión (Clement, 1995) es apropiado. Esto debido a que las probabilidades de inundación pueden cambiar de un día para otro (Morss, 2009) y la decisión crucial está en decidir el momento idóneo para iniciar un proceso de evacuación con base en un costo mínimo de actuación (Treeplan, 2017).

2.4 Inundaciones y sus probabilidades de ocurrencia.

2.4.1 Generación de escenarios

La modelación de las inundaciones y creación de escenarios de inundación, sobre todo en áreas extensas, requieren de tiempo razonable para su desarrollo. Eso significa que los escenarios de inundación que anteceden a la aplicación de cualquier modelo, son escenarios definidos o simulados previamente siguiendo los pasos o procesos que los anteceden. Por otra parte, estos escenarios se consideran como probables dado que los eventos de inundación lo son (Morss, 2009).

Para la generación de escenarios de inundación, Baró-Suárez (2011) sugirió dos métodos para crearlos: a) los que se obtienen por simulación y b) los que se integran mediante información obtenida de organismos oficiales como Protección Civil o en documentos históricos (pe. Atlas de inundación).

Al respecto, cabe aclarar que los escenarios se asocian a periodos de retorno (Tr). Estos se definen como el tiempo en años en que es posible se repita un evento de lluvias o escurrimientos de cierta magnitud que provoque la inundación de interés en un estudio (Campos-Aranda, 2014). El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), define el Tr como el tiempo que, en promedio, debe transcurrir para que se presente un evento igual o mayor a una cierta magnitud. Normalmente, el tiempo que se usa son años, y la magnitud del evento puede ser el escurrimiento, expresado como un cierto gasto, una lámina de precipitación o una profundidad de inundación (CENAPRED, 2015). En este trabajo se empleó un Tr de 100 años.

Para modelar un escenario de inundación se requieren los siguientes elementos:

1. Datos de orden geográfico de la zona como los Mapas Digitales de Elevación (MDE), orto fotos de la zona de interés y mapas de catastro.

2. Datos de población
3. Datos de precipitación o escurrimiento (hidrograma de entrada) que se desean ingresar a la zona de interés asociados a los Tr de interés.
4. Software adecuado para simular el tirante alcanzado por el agua, la velocidad y la duración del evento.
5. Equipo de cómputo de capacidad suficiente para realizar los cálculos implícitos en la simulación.

En cuanto a *software* de aplicación a la simulación de inundaciones se han desarrollado alrededor del mundo diferentes aplicaciones con características similares en cuanto a los resultados que proveen. Los más reconocidos son: *Mikeflood* (Patro *et al.*, 2009; Domingo *et al.*, 2010), *Sobek*, desarrollado por la Universidad Delft Australia (Deltares, 2015) e *IBER* (Iberaula, 2016) desarrollado por un consorcio de universidades e institutos europeos. Sin embargo, en este trabajo se eligió un escenario generado a partir de la metodología de los *datos históricos de un evento* (Baró-Suárez *et al.*, 2011), el cual ocurrió en la Ciudad de Villahermosa Tabasco, México, en 2007.

2.4.2 Probabilidades de desbordamiento de un río de planicie

Un gran número de inundaciones ocurren en zonas planas y/o cercanas a los cauces de los ríos (OMM, 2006). Ocurren cuando el agua supera los bordos naturales del cauce y cubre zonas aledañas a éstos durante un cierto tiempo (CENAPRED, 2001). Para los casos específicos de desbordamientos de ríos de planicie el mejor criterio para determinar la probabilidad de inundación (TUDelft, 2004), se basa en la probabilidad de que el nivel del río (h) sobrepase el nivel de la cresta más alta (h_{cr}) de la protección o del bordo del río (Figura 2-2).

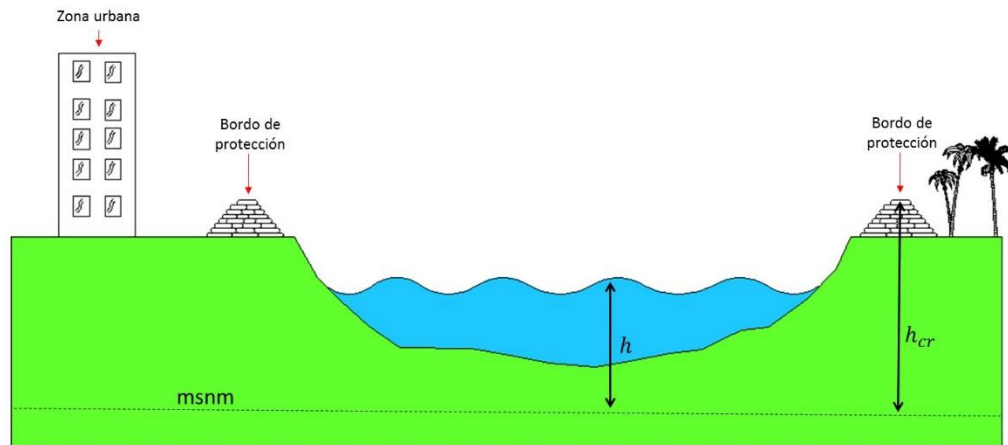


Figura 2-2. Elementos empleados en la protección contra inundaciones en zonas urbanas. Fuente: Elaboración propia (2017)

Para el caso de un dique o bordo, la función de confiabilidad (Z) se define como:

$$Z = h_{cr} - h \quad (\text{Ec.2.1})$$

La probabilidad de falla o desbordamiento (P_f) queda como:

$$P_f = P(Z \leq 0) = P(h \geq h_{cr}) \quad (\text{Ec.2.2})$$

$$P(Z > 0) = 1 - P_f \quad (\text{Ec.2.3})$$

La probabilidad de inundación (o probabilidad de falla) queda como:

$$P_f = P(Z \leq 0) = P(h \geq h_{cr}) = \int_{h_{cr}}^{\infty} f(h)dh \quad (\text{Ec.2.4})$$

Donde $f(h)$ es función de densidad de probabilidad del nivel de agua $h[-]$

La probabilidad de inundación dado el nivel de agua para una predicción es la siguiente:

$$P_{f/h_{pred}} = \int_{h_{cr}}^{\infty} f(h|h_{pred}) dh = 1 - F(h|h_{pred}) \quad (\text{Ec.2.5})$$

Donde:

$f(h|h_{pred})$ función de densidad de probabilidad del nivel de agua h dada su predicción $h_{pred}[-]$

$F(h|h_{pred})$ función de densidad de probabilidad acumulada del nivel de agua h dada su predicción $h_{pred}[-]$

Más adelante, en la sección 4.3.2, se aplicó la ecuación 2.5 para el cálculo afinado de la probabilidad de desbordamiento. Se aplicó *generación sintética* de tirantes a partir de un evento “semilla” (tirantes alcanzados durante la inundación de 2007 en el Centro Histórico de la Ciudad de Villahermosa Tabasco, México) mediante simulación Montecarlo.

En el análisis de escurrimientos, muchas de las predicciones que se realizan dependen de hipótesis simples, las cuales han sido establecidas empíricamente entre la variable observada; por ejemplo, el nivel de aguas arriba y, una variable de la que existe interés en predecir, por ejemplo, el nivel de aguas abajo en un momento posterior (OMM, 1994). En este marco, es efectivo aplicar un método para predecir el comportamiento de las inundaciones a través de modelos matemáticos, sustentados en análisis estadísticos (Kalyanapu *et al.*, 2012). Los métodos estadísticos, se utilizan para calcular la probabilidad de desbordamiento. En esta investigación, se empleó el método de Montecarlo para generar series sintéticas de tirantes hasta cinco días previos al suceso real mediante la simulación aleatoria. En general el método ejecuta un proceso para muestrear aleatoriamente la variable de entrada (por ejemplo, rugosidad, caudal máximo, niveles de agua etc.) para eliminar la incertidumbre en el análisis de

inundación. Más generalmente, un generador de números aleatorios (en el entorno de la CPU) se utiliza para seleccionar valores de una función de distribución de probabilidades especificada por el usuario (por ejemplo, Normal y Log-Normal).

La generación de probabilidades de desbordamiento de diques mediante la simulación de Montecarlo ha sido empleada con regularidad para desarrollar diversos modelos (Vrijling *et al.*, 2003; Van Looveren *et al.*, 2016). No obstante, en la definición de estas probabilidades se consideran diversas formas de falla y las características geométricas y constructivas de los diques (Möllmann *et al.*, 2007; Naulin *et al.*, 2011). Sin embargo, el desbordamiento de ríos de planicie en países en desarrollo, está determinado por situaciones menos complejas dado que en las llanuras costeras normalmente se carece de obras marginales sofisticadas y el desbordamiento se circunscribe al rebosamiento de los bordos naturales de los cauces. El desarrollo de modelos aplicados a este tipo de desbordamiento ha sido abordado con menor intensidad (Huthoff *et al.*, 2005; Natale *et al.*, 2007; Charalambous *et al.*, 2013). En la sección 4.3.2 se describe el cálculo afinado de la probabilidad de desbordamiento de un bordo natural para un evento de inundación utilizado para probar el modelo propuesto en el Capítulo 3.

Cabe destacar que en casos de desastres en México, el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC México) es el organismo oficial responsable de coordinar a las diferentes dependencias estatales y federales para la atención a desastres (SINAPROC, 2015) a nivel nacional. La toma de decisiones recae en los comités intergubernamentales en cuya atribuciones esta la responsabilidad de definir el curso de acción de los procesos de evacuación.

El proceso de obtención de la probabilidad de desbordamiento presentada en esta investigación mediante simulación Montecarlo, puede ofrecer a estos comités, variadas alternativas: horizontes de planificación hasta cinco días previos al evento, diferentes *grados de precisión* $(\Delta h)_{pred}$. En el Anexo B se exponen diferentes horizontes de planificación para diferentes *grados de precisión*.

2.5 La evaluación de daños por inundación

2.5.1 Aspectos generales

Una inundación de acuerdo a la definición del CENAPRED (2015), es “el aumento del nivel del agua por arriba del nivel normal del cauce” pudiéndose generalizar como:

aquel evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura.

Los daños que las inundaciones ocasionan sobre las superficies inundadas pueden clasificarse como *tangibles* e *intangibles* (Baró-Suárez *et al.*, 2011). Los primeros corresponde a aquellos que se pueden evaluar con base en su valor monetario, se pueden agrupar en dos categorías: aquellos del daño derivado del contacto de las personas, infraestructura, bienes muebles, ganado, etc. con el agua; los segundos no pueden trasladarse fácilmente a este concepto, se refieren a la interrupción de actividades económicas por el evento, costos por desalojo, interrupción de servicios públicos, entre otros. Los daños intangibles se pueden dividir en directos e indirectos. Los primeros están representados por daños al medio ambiente, muerte de personas, daños al patrimonio cultural; los segundos se refieren a ciertos daños a la población como ansiedad, el estrés psicológico y enfermedades diversas.

La evaluación de daños está centrada, principalmente en los *tangibles directos* (Jonkman *et al.*, 2008) y se reconocen tres metodologías: *método de evaluación directa*, *métodos conceptuales* y *análisis de vulnerabilidad*. Respecto a la evaluación directa, ésta puede realizarse mediante métodos basados en el inventario de los daños ocasionados por el evento de inundación (evaluación a posteriori) o mediante métodos probabilísticos que se apoyan de escenarios probabilísticos de inundación (evaluación a priori).

Las variables clave para determinar los posibles daños de una inundación depende del conocimiento que se tenga sobre tres características básicas del evento de inundación (Bladé *et al.*, 2014; SINAPROC, 2015):

1. El tirante alcanzado
2. La velocidad de exposición

La duración de la inundación (tiempo de exposición) Esta investigación aplicó evaluación directa a priori debido a que se estimaron los costos hasta cinco días antes

del suceso de un evento de referencia. Se considera directa debido a que se tomaron en cuenta los principales costos tangibles derivados de la evacuación de personas y las posibles bajas por fallecimiento de las personas que no se desplazaron de sus hogares en el proceso de evacuación realizado durante el evento de aplicación.

2.5.2 La generación de los costos tangibles en evacuaciones de lento desarrollo

Los costos tangibles que se consideraron fueron: los *costos totales por evacuación* (\$ CTE) y los *costos totales por daños* (\$ CTD).

Los \$ CTE dependen principalmente del total de la población evacuada de acuerdo al escenario, del tipo de transporte usado para el traslado, la distancia entre los puntos o sitios del desastre y los albergues, el número de días que las personas estarán albergadas o separadas de sus viviendas, la manutención de las personas albergadas, la cantidad de personal asignado para la logística del traslado y vigilancia en la zona afectada y personal de apoyo en los albergues para control. Se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{\$ CTE} = \text{\$ DR} + \text{\$ M} + \text{\$ L} \quad (\text{Ec.2.6})$$

Donde:

$\text{\$ CTE}$ = Costos Totales de Evacuación

$\text{\$ DR}$ = Costos Desalojo-Retorno

$\text{\$ M}$ = Costos de Manutención

$\text{\$ L}$ = Costos de Logística

$$\text{\$ DR} = \text{TPD} / \text{CT} * 4\text{DMA} * \text{\$KMR} \quad (\text{Ec.2.7})$$

Donde:

TPD = Total de Personas Desalojadas y albergadas

CT=Capacidad del Transporte

DMA= Distancia Media entre Albergues y puntos de encuentro de la zona en km

\$ KMR= Costo por Km. Recorrido

$$\text{\$ M} = \text{\$ AD} \cdot \text{TPD} \cdot \text{ND} \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Donde:

\$ AD= Alimentación Diaria/Persona

TPD = Total de Personas Desalojadas y Albergadas

ND = Número de días entre la evacuación y el evento + 3

$$\text{\$ L} = \text{SMD} \cdot \text{NA} / 20 \cdot \text{ND} \quad (\text{Ec.2.9})$$

Donde:

\$ SMD= Salario Medio /Día

NA = No. De afectados

Estás fórmulas aplicaron a la evaluación de los costos de evacuación en el caso de aplicación. Es necesario destacar que al dato ND las ecuaciones 2.8 y 2.9, se agregaron tres días adicionales considerando el proceso de recuperación post evento de acuerdo a las recomendaciones de Frieser (2004).

Los costos tangibles directos que se derivan de un evento de inundación, pueden agruparse en los tipos siguientes: pérdidas de ganado, pérdida de bienes muebles e inmuebles y las pérdidas humanas (Freiser, 2004).

Respecto a la pérdida de ganado, no aplica para esta investigación dado que el modelo que se propone está desarrollado para la atención de población citadina; en lo que respecto a bienes muebles e inmuebles, los primeros tienen relación con el momento de decisión buscado por el modelo propuesto, los segundos no dependen de la decisión oportuna o retardada.

Respecto a las pérdidas humanas y su valoración económica es un tema que incluye aspectos éticos (Jongejan *et al.*, 2005). Sin embargo la mayoría de los autores coinciden en que el valor de la vida debiera considerarse en la toma de decisiones por encima de cualquier postura ética (Kundzewicz *et al.*, 2013).

La primera discusión de los expertos para estimar los costos por bajas mortales consiste en definir el número total de víctimas mortales en un suceso. Al respecto se han desarrollado diversas investigaciones que tratan de estimar por diferentes métodos estas bajas (Jonkman *et al.*, 2008).

Conocido el número total de víctimas, Jonkman (2007) propone dos metodologías para evaluar los costos tangibles por decesos: *evaluación considerando indicadores macro económicos* y *evaluación considerando la opinión de las personas hacia la seguridad y cuanto están dispuestas a pagar por ésta*. Con respecto a la evaluación considerando indicadores macro económicos propone como primera aproximación, dividir el PIB de la zona o el país entre el número de habitantes. En esta investigación se aplica un indicador que difiere del primer criterio y se apega al segundo criterio considerando el monto medio anual asegurado por persona en caso de fallecimiento en México de acuerdo a la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguro (AMIS).

En la integración de los **Costos totales por daños** (CTD) se necesita precisar que, a diferencia de la consideración del *número de personas desalojadas (TPD)* considerados en los *Costos totales por evacuación (CTE)*, en esta fórmula se considera a la *población total afectada (NA)*; aclarando que este último número es mayor al primero. La razón de esta consideración es la siguiente: en caso de darse un evento extraordinario como el que se analizó en esta investigación, en las evacuaciones de lento desarrollo, una gran cantidad de personas emigran o se trasladan de forma independiente hacia lugares seguros (CEPC-Tabasco, 2014).

$$\text{\$ CTD} = 0.01 * \% \text{ NED} * \text{NA} * \text{\$ VED} \quad (\text{Ec.2.10})$$

Donde:

NED = No Evacuados/Día

NA = Número de Afectados

$\$ VED = \text{Valor Económico por Deceso}$

En la integración de la fórmula anterior, se consideró solamente el monto que pudiera generarse de las posibles víctimas mortales de un proceso de evacuación. Se da por hecho que una evacuación tardía implica mayores riesgos. De acuerdo a Frieser (2004), se considera que el 1% de la población no evacuada, independientemente de las razones, está en riesgo de perecer por diferentes causas: ahogamiento, paro cardíaco, etc.

En la asignación del valor económico por deceso, se consideraron los criterios establecidos por la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros (AMIS) (SEGUROS, 2014). El criterio asumido establece como valor por deceso el monto medio asegurado, a nivel nacional, por persona como protección contra fallecimiento. Para el caso de este trabajo se consideró el valor de $VED = \$ 374,000.00$ como valor establecido por la AMIS en México. No obstante, en la Sección 5.2 se usa la cantidad de $VED = \$ 200,000.00$ como un valor alternativo de la variable VED para saber en qué medida la variación de los Costos Totales por Daños (\$CTD) afectan los costos de actuar o no actuar.

Finalmente, los valores NED (No evacuados por día) para aplicar la fórmula 2.10 en este trabajo, se toman de la *curva de evacuación* (Frieser, 2004) mostrada en la figura 5.1 del caso de aplicación.

2.6 Estudio de campo

2.6.1 Operacionalización de variables

El desarrollo de un modelo requiere cumplir tres objetivos específicos: 1) determinar la necesidad del modelo, 2) diseñar el modelo y 3) validar el modelo. Siendo así, para solventar el punto 1, es necesario crear una o más variables y generar un proceso de operacionalización de variables para satisfacer el cumplimiento. Este proceso de operacionalización se concreta aplicando un instrumento, definido a partir de las variables creadas, a los usuarios o beneficiarios de la creación para determinar la necesidad de ésta.

El proceso de operacionalización de una variable equivale a planificar la obtención de datos mediante preguntas y que éstas se obtengan a través de un proceso planificado y ordenado al momento de realizar su recolección.

Una variable se define por sus dimensiones y subdimensiones, los indicadores, sub indicadores y las preguntas respectivas.

A su vez, las preguntas se definen considerando las bases teóricas, los objetivos y las dimensiones e indicadores de la variable. En los siguientes apartados (del 2.6.1 al 2.6.4) se materializa el proceso de operacionalización llevado a cabo en esta investigación.

2.6.2 Diseño del instrumento

En la Tabla 2-3 y Tabla 2-4 se desglosan, la matriz de congruencia metodológica y la matriz de variables, en éstas se detallan los elementos que permitieron definir las variables de operacionalización.

TESIS: Desarrollo de un modelo probabilístico para la toma de decisiones en casos de evacuación de población en riesgo por inundación: estudio empírico aplicado en Tabasco, México.

Tabla 2-3. Matriz de congruencia metodológica. Fuente: Elaboración propia

Desarrollo de un modelo probabilístico para la toma de decisiones en casos de evacuación de población en riesgo por inundación: estudio empírico aplicado en Tabasco, México.						
Justificación	Descripción del problema	Pregunta de investigación	Objetivo general	Objetivos específicos	Hipótesis	Descripción de variables
En lo que se refiere a inundaciones en México y muchos países en desarrollo, las acciones prevención a desastres se han enfocado principalmente al desarrollo de estrategias estructurales, concediéndole por lógica, menor importancia a las no estructurales; esto se considera insuficiente dado que se requieren estrategias para la gestión del riesgo ante el cambio climático.	En las planicies costeras, básicamente en países en vías de desarrollo, la gestión del riesgo en su concepto más amplio, es incipiente. Los modelos de apoyo a la toma de decisiones son limitados y esto conlleva la posibilidad de mayores daños económicos y ponen en riesgo la vida de muchas personas.	¿Cómo desarrollar un modelo probabilístico de apoyo a la toma de decisiones, que aporte los elementos necesarios para indicar el tiempo de evacuación idóneo y minimice los riesgos e impactos sociales y económicos por inundación ocasionada por el desbordamiento de un río de planicie?	Desarrollar un modelo probabilístico de apoyo a la toma de decisiones para casos de evacuación de población en riesgo de inundación por desbordamiento de un río de planicie.	1. Identificar las variables necesarias para el desarrollo del modelo acorde al contexto de aplicación. 2. Seleccionar y desarrollar el modelo de apoyo a la toma de decisiones de acuerdo al contexto de aplicación. 3. Generar la metodología para dar sentido a las variables de entrada al modelo de acuerdo al contexto de aplicación. 4. Aplicar el modelo a un evento de inundación para su validación.	Es posible desarrollar un modelo probabilístico de apoyo a la toma de decisiones en casos de evacuación de población por desbordamiento de un río de planicie utilizando arboles de decisión.	Variables independientes: Costos tangibles Probabilidades de desbordamiento Variable dependiente: Modelo Probabilístico de apoyo a las decisiones Variable interviniente: Instancias gubernamentales de apoyo a la población en casos de inundación

Fuente: Elaboración propia (2017)

Tabla 2-4. Matriz de variables.

Descripción de las variables	Definición conceptual	Definición operativa	Dimensiones de las variables	Indicadores
Variable independiente: Costos tangibles Probabilidad de desbordamiento	Son los costos que derivan de un proceso de evacuación. Probabilidad de que el tirante de agua en un cauce supere la altura del bordo.	Costos totales de evacuación Costos totales por daños Probabilidad de desbordamiento	Económica Social Técnica	Costo de evacuación por cada persona evacuada Costo por fallecimiento por cada persona no evacuada y grado de importancia que tiene la vida en las decisiones Probabilidad de desbordamiento para un horizonte de planificación considerando un umbral de seguridad
Variable dependiente: Modelo probabilístico de apoyo a las decisiones	Herramienta del pensamiento científico, los cuales pueden ser matemáticos o físicos con materialidad o no, que a su vez pueden ser icónicos, analógicos o simbólicos.	Modelo de apoyo a las decisiones para casos de evacuación de población en riesgo de inundación	Cognoscitiva Tecnológica Operativa	Nivel de conocimiento de los usuarios sobre la existencia de modelos de apoyo a las decisiones Cantidad de elementos del modelo en caso de existir Grado de complejidad de los modelos existentes o el modelo potencial Calidad de la información disponible para operar un modelo potencial
Variable interviniente: Instancias gubernamentales de apoyo a la población en casos de inundación	Dependencias oficiales de ayuda	Protección Civil, CNA, SEDENA	Económica Social Política	Grado de importancia que tienen los costos en las decisiones Grado de importancia que se le atribuye a los daños potenciales en casos de reusar la ayuda institucional Nivel de compromiso con la credibilidad a través de tomar buenas decisiones

Fuente: Elaboración propia (2017)

2.6.3 Instrumento de recolección de datos. Instrumento preliminar

A partir de las Tabla 2-3 y Tabla 2-4 se diseñó la matriz preliminar de preguntas en la escala de Likert: *Totalmente de acuerdo, en desacuerdo, ni de acuerdo ni en desacuerdo, de acuerdo, totalmente de acuerdo.* (Tabla 2-5).

Tabla 2-5. Matriz preliminar de preguntas en escala de Likert.

Variable	Dimensiones	Indicadores	Preguntas
Variables independiente: Costos tangibles Probabilidad de desbordamiento	Económica Social Técnica		¿Qué tan importante cree que es necesario considerar los costos de evacuación y daños en la toma de decisiones en casos de evacuación por inundación? En situaciones de decidir: ¿En qué medida la vida de las personas es más importante que cualquier otra pérdida para decidir el momento de actuar en casos de inundación? ¿En qué medida (en su ámbito) se aplican modelos probabilísticos para apoyar las decisiones en casos de evacuación por inundación? ¿Qué tan importante considera, en un modelo de apoyo a las decisiones, tomar en cuenta los costos del evento y las probabilidades de ocurrencia?
Variable dependiente: Modelo probabilístico de apoyo a las decisiones	Cognoscitiva Tecnológica Operativa	Conocimiento Elementos del modelo Complejidad Información	¿En caso de aplicar alguno, aplican decisiones secuenciales o árboles de decisión? ¿Qué tan importante es que un modelo sea de fácil aplicación e interpretación de sus resultados para todas las personas que intervienen en los procesos decisorios? ¿En qué medida considera importante, la cantidad, calidad y disposición de datos para que un modelo realmente apoye las decisiones?
Variable interviniente: Instancias gubernamentales de apoyo a la población en casos de inundación	Económica Social Política	Costos Daños Credibilidad	En caso de una evacuación fallida (se evacuaron las personas, pero no sucedió el evento) ¿se ve afectado el nivel de credibilidad de las dependencias? ¿Qué tan importante es para una dependencia oficial de apoyo a la población, optimizar los recursos económicos en caso de inundación? ¿Es importante contar con un modelo de apoyo a las decisiones para decidir el momento idóneo para actuar en función de la optimización de recursos? En el contexto propio, ¿las personas prefieren optar por la ayuda institucional a padecer y/o resistir una inundación sin ayuda, considerando que los daños pueden ser mayores? ¿Es importante la credibilidad para las instancias oficiales, considerando que ésta se logra mediante buenas decisiones?

Elaboración propia (2017)

Definidas las preguntas mostradas en la tabla 2-5, se procedió al *proceso de validación* (sección 2.6.4) mediante *prueba piloto* y posteriormente a su aplicación a los sujetos de la muestra, a la prueba de *consistencia interna* mediante la prueba Alfa de Cronbach.

2.6.4 Validación del instrumento

Para efectos de aplicar un instrumento lo más confiable posible, se realizaron dos acciones importantes:

1. Una prueba piloto, aplicada a sujetos que, sin ser parte de la muestra, poseen las mismas características de los integrantes de la muestra elegida, conocimiento del contexto, experiencias vivenciales sobre el fenómeno (Hernández *et al.*, 2010).

2. Una prueba de consistencia interna (prueba Alfa de Cronbach) a los resultados obtenidos de la aplicación del instrumento. *Prueba piloto*

Los sujetos encuestados en la prueba piloto fueron los siguientes: jefe de proyectos de obras de defensa contra inundaciones, investigador relacionado con inundaciones, funcionario de la CNA, residente de obra. Derivado de esta prueba piloto la tabla 2-6 muestra las preguntas que requirieron un nuevo planteamiento.

Tabla 2-6. Resumen de observaciones a la prueba piloto.

No. De pregunta	Contenido de la pregunta	Encuestado 1	Encuestado 2	Encuestado 3	Encuestado 4
1	¿En qué medida (en su ámbito) se aplican modelos probabilísticos para apoyar las decisiones en casos de evacuación por inundación?	ok	ok	Ok	Replantear la pregunta
2	¿En caso de aplicar alguno, aplican decisiones secuenciales o árboles de decisión?	No respondió	ok	Ok	Replantear la pregunta
3	¿Qué tan importante considera, en un modelo de apoyo a las decisiones, tomar en cuenta los costos del evento y las probabilidades de ocurrencia?	ok	Replantear la pregunta a	Replantear la pregunta	Replantear la pregunta
4	¿Qué tan importante es que un modelo sea de fácil aplicación e interpretación de sus resultados para todas las personas que intervienen en los procesos decisorios?	ok	Replantear la pregunta.	Replantear la pregunta	Replantear la pregunta
5	¿En qué medida considera importante, la cantidad, calidad y disposición de datos para que un modelo realmente apoye las decisiones?	ok	Replantear la pregunta	Replantear la pregunta	Replantear la pregunta sencillos.
6	¿Qué tan importante cree que es necesario considerar los costos de evacuación y daños en la toma de decisiones en casos de evacuación por inundación?	ok	Replantear la pregunta	Replantear la pregunta	ok
7	En situaciones de decidir: ¿En qué medida la vida de las personas es más importante que cualquier otra pérdida para decidir el momento de actuar en casos de inundación?	ok	ok	Replantear la pregunta	ok
8	En caso de una evacuación fallida (se evacuaron las personas, pero no sucedió el evento) ¿se ve afectado el nivel de credibilidad de las dependencias?	ok	ok	Ok	Replantear la pregunta
11	En el contexto local, ¿las personas prefieren optar por la ayuda institucional a padecer y/o resistir una inundación sin ayuda, considerando que los daños pueden ser mayores?	ok	ok	Ok	Replantear la pregunta

Fuente: Elaboración propia (2017)

Las observaciones aportadas por los entrevistados (Tabla 2-6) sirvieron para apoyar la redacción definitiva del instrumento. Las preguntas definitivas se muestran a en la Tabla 2-7. Posteriormente se procedió a la aplicación de los cuestionarios a un total de 15 funcionarios: 6 de Protección Civil y 9 de la oficina de la Comisión Nacional del Agua.

Tabla 2-7. Matriz de preguntas definitivas.

No. De pregunta	Contenido de la pregunta	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en desacuerdo ni de acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
1	(En su ámbito) ¿Se aplican modelos probabilísticos para apoyar las decisiones en casos de evacuación por inundación?					
2	En caso de aplicar alguno, ¿se usan pronósticos anticipados (por ejemplo cuatro, tres, dos y un día) antes del suceso para identificar escenarios?					
3	En un modelo de apoyo a las decisiones, ¿se deben tomar en cuenta los costos del evento y las probabilidades de ocurrencia?					
4	¿Es importante que un modelo sea de fácil aplicación e interpretación de sus resultados para todas las personas que intervienen en los procesos decisorios?					
5	¿Es importante, la cantidad, calidad y disposición de datos para que un modelo realmente apoye las decisiones?					
6	¿Es necesario considerar los costos de evacuación y daños en la toma de decisiones en casos de evacuación por inundación?					
7	En situaciones de decidir: ¿la vida de las personas es más importante que cualquier otra pérdida para decidir el momento de actuar en casos de inundación?					
8	En caso de una evacuación fallida (se evacuaron las personas, pero no sucedió el evento) ¿se ve afectado el nivel de credibilidad de las dependencias?					
9	Para una dependencia oficial de apoyo a la población, ¿es importante optimizar los recursos económicos en caso de inundación?					
10	Decidir el momento idóneo para actuar en función de la optimización de recursos, ¿significa mayor éxito en la evacuación?					
11	En el contexto local, ¿las personas prefieren optar por la ayuda institucional a padecer y/o resistir una inundación sin ayuda, considerando que los daños pueden ser mayores?					
12	¿Es importante la credibilidad para las instancias oficiales, considerando que ésta se logra mediante buenas decisiones?					

Fuente: Elaboración propia (2017)

Con los resultados obtenidos de la aplicación del instrumento se procedió a realizar la prueba de consistencia interna.

Prueba Alfa de Cronbach

Hace más de 60 años se presentó la publicación del trabajo sobre la prueba alfa de Cronbach (Cronbach, 1951) y a partir de ese momento este coeficiente se estableció como un factor de evaluación de correlación de un instrumento. Se define como un coeficiente que mide la fiabilidad de una escala de medida.

En referencia a lo anterior la aplicación efectiva Alfa de Cronbach no pierde perspectiva dado que el coeficiente se considera dentro de la problemática más amplia del análisis de confiabilidad y las consideraciones en relación con su aplicación (González y Pazmiño, 2015). Por esta razón, para que el instrumento sea idóneo, y que sea aplicado con un índice alto de confiabilidad se requiere que cumpla con dos requisitos: confiabilidad y validez (González-Ortega, 2008). La validez se refiere a que mide lo que se desea medir, mientras que la confiabilidad refiere a la exactitud con que un instrumento de medida mide lo que mide (Quero, 2010). Dado que el instrumento mide de forma adecuada las variables que se evalúan con facilidad y eficiencia, permite que el coeficiente Alfa de Cronbach, requiera una sola administración del instrumento de medición y producir valores que oscilan entre 0 y 1 (Bojórquez *et al.*, 2013). Su ventaja reside en que no es necesario dividir en mitades a los ítems del instrumento de medición, simplemente se aplica la medición y se calcula el coeficiente (Hernández *et al.*, 2010).

La mayoría de los autores coinciden en que un instrumento es aceptable para el coeficiente alfa de Cronbach es 0.7; por debajo de ese valor la consistencia interna de la escala utilizada es baja (Celina y Campo, 2005). Este valor manifiesta la consistencia interna, es decir, muestra la correlación entre cada una de las preguntas; un valor a 0.7 revela una fuerte relación entre las preguntas, un valor inferior revela una débil relación entre ellas. Sin embargo, cuando no se cuenta con un mejor instrumento se pueden aceptar valores inferiores de alfa de Cronbach, teniendo siempre presente esa limitación (Celina y Campo, 2005). A continuación (Tabla 2.8) se muestran los valores entre 0 y 1 para evaluar los coeficientes de alfa de Cronbach tomados de Frías (2013).

Tabla 2-8. Valores del criterio Alfa de Cronbach.

	Rango	Criterio
Coeficiente alfa	> 0.9	Es excelente
Coeficiente alfa	> 0.8	Es bueno
Coeficiente alfa	> 0.7	Es aceptable
Coeficiente alfa	> 0.6	Es cuestionable
Coeficiente alfa	> 0.5	Es pobre
Coeficiente alfa	< 0.5	Es inaceptable

Fuente: Frías (2013)

De la misma manera, Frías (2013) relacionó aportaciones acerca del coeficiente alfa de Cronbach de otros autores (Ballesteros, 2014). Estas aportaciones se relacionan en la tabla siguiente:

Tabla 2-9. Tabla de valores por autores.

Autor	Año	Opinión
Nunnally	1978	Dentro de un análisis exploratorio estándar, el valor de fiabilidad en torno a 0.7 es adecuado y es el nivel mínimo aceptable. El autor reconoce que valores más bajos son utilizados a veces en la literatura. En las primeras fases de la investigación o estudios exploratorios un valor de fiabilidad de 0.6 o 0.5 puede ser suficiente (Nunnally, 1967). Con investigación básica se necesita al menos 0.8 y en investigación aplicada entre 0.9 y 0.95.
Gliem y Gliem	2003	Un valor de alfa de 0.8 es probablemente una meta razonable.
Huh, Delorme y Reid	2006	El valor de fiabilidad en investigación exploratoria debe ser igual o mayor a 0.6 y en estudios confirmatorios debe estar entre 0.7 y 0.8.
Kaplan y Saccuzzo	1982	El valor de fiabilidad para la investigación básica entre 0.7 y 0.8 y en investigación aplicada sobre 0.95.
Loo	2001	El valor de consistencia que se considera adecuado es de 0.8 o más.
Loewenthal	1996	Sugiere que un valor de fiabilidad de 0.6 puede ser considerado aceptable para escalas con menos de 10 ítems.

Fuente: Tomado de Frías (2013)

Cálculo del valor Alfa de Cronbach

A continuación, se procedió a verificar la validez del instrumento mediante la prueba Alfa de Cronbach (2) a partir de la tabla 2-10.

Tabla 2-10. Valor Alfa de Cronbach del instrumento aplicado.

Encuesta	Preguntas											
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12
1	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	3	5
2	3	5	1	5	5	1	2	3	4	5	5	5
3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
4	5	5	5	5	5	4	5	3	5	3	3	5
5	4	1	2	5	5	2	5	5	5	5	4	5
6	3	2	3	4	4	5	5	2	5	4	3	5
7	4	5	3	5	5	5	5	2	5	5	2	5
8	2	3	1	5	5	4	5	5	4	5	3	3
9	3	2	4	5	5	5	5	1	5	5	5	5
10	2	4	5	5	5	5	5	3	3	5	3	4
11	1	3	3	5	5	5	4	3	5	4	4	3
12	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5
13	5	5	3	5	5	5	5	3	4	3	4	4
14	4	5	5	5	5	5	5	4	4	5	4	4
15	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5
Varianza	1.78	2.00	2.24	0.07	0.07	1.54	0.64	1.70	0.55	0.55	0.89	0.55
Media	3.73	4.00	3.67	4.93	4.93	4.40	4.73	3.53	4.47	4.53	3.80	4.53
Moda	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5
Mediana	4	5	4	5	5	5	5	3	5	5	4	5

Fuente: Elaboración propia (2017)

Tabla 2-11. Valores básicos para calcular el α de Cronbach

No. De preguntas (K)	12
SUM VAR IND(Σv_i)	12.57142857
VAR TOTAL(V_t)	29.20952381

Fuente: Elaboración propia (2017)

$$\alpha = (K/K - 1)[1 - \Sigma V_i/V_t] \quad \text{Ec. 2.6}$$

Sustituyendo los valores de la Tabla 2-11 en la Ec. 2.6 se obtiene el valor $\alpha = 0.621$

Conclusión sobre la prueba

Se observa de acuerdo a los resultados que el Alfa de Cronbach oscila entre 0.6 y 0.7. Si bien de acuerdo a varios autores el grado de fiabilidad es bajo, para otros autores (Huh, Delorme y Reid (2006) y dada la característica exploratoria que tiene esta investigación, el instrumento se considera **aceptable y la prueba se considera con validez para el propósito de ésta.**

CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL MODELO

3.1 Resultados del estudio de campo

La técnica de recolección de datos aplicada fue la entrevista abierta a mandos medios y superiores de las dependencias oficiales definidas en la muestra representativa. Se utilizó la escala de Likert de cinco valores, proponiéndose una escala nominal para formar una distribución probabilística discreta a partir de las respuestas (Tabla 3-1).

Tabla 3-1. Escala de Likert homologada.

Respuesta	Escala
Totalmente en desacuerdo	1
En desacuerdo	2
Ni en desacuerdo/ni de acuerdo	3
De acuerdo	4
Totalmente de acuerdo	5

Fuente: Elaboración propia (2017)

A continuación se presentan los resultados tabulados y graficados de cada pregunta o ítem y su correspondiente valor *promedio*, *moda* y *mediana*. Cabe destacar que se concluye para cada ítem o pregunta de acuerdo al valor de la *mediana* dado que el *promedio* es más sensible a los valores extremos, y tanto ésta como la *moda* son medidas de tendencia más robustas para este tipo de apreciaciones.

Resultados pregunta 1:

Tabla 3-2. Total de respuestas a la pregunta 1.

Pregunta	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en desacuerdo/ni de acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
(En su ámbito) ¿Se aplican modelos probabilísticos para apoyar las decisiones en casos de evacuación por inundación?	1	2	3	3	6

Fuente: Elaboración propia (2017)

Promedio = 3.73, Moda = 5, Mediana = 4

De acuerdo a la *mediana* obtenida de las respuestas a la pregunta 1 (Tabla 3-2) y a la equivalencia mostrada en la tabla de valores asignados a la escala (Tabla 3-1), se concluye que, las respuestas de los funcionarios entrevistados muestran una tendencia a estar **de acuerdo** en que se usan modelos para apoyar sus decisiones en casos de emergencias por inundación.

Resultados pregunta 2:

Tabla 3-3. Total de respuestas a la pregunta 2.

Pregunta	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en desacuerdo/ni de acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
En caso de aplicar alguno, ¿se usan pronósticos anticipados (por ejemplo cuatro, tres, dos, un día) antes del suceso para identificar escenarios?	1	2	2	1	9

Fuente: Elaboración propia (2017)

Promedio = 4.00, Moda =5, Mediana =5

De acuerdo a la *mediana* obtenida de las respuestas a la pregunta 2 (Tabla 3-3) y a la equivalencia mostrada en la tabla de valores asignados a la escala (Tabla 3-1), se concluye que, las respuestas de los funcionarios entrevistados tienden a mostrar que están **totalmente de acuerdo** en que se aplican, en sus dependencias, pronósticos anticipados para identificar escenarios de inundación.

Resultados pregunta 3:

Tabla 3-4. Total de respuestas a la pregunta 3.

Pregunta	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en desacuerdo/ni de acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
En un modelo de apoyo a las decisiones, ¿se deben tomar en cuenta los costos del evento y las probabilidades de ocurrencia?	2	1	4	1	7

Fuente: Elaboración propia (2017)

Promedio =3.67, Moda =5, Mediana =4

De acuerdo a la *mediana* obtenida de las respuestas a la pregunta 3 (Tabla 3-4) y a la equivalencia mostrada en la tabla de valores asignados a la escala (Tabla 3-1), se concluye que, las respuestas de los funcionarios entrevistados tienden a manifestar estar **de acuerdo** en que los costos y las probabilidades de ocurrencia son insumos importantes para los modelos que reconocen aplicar.

Resultados pregunta 4:

Tabla 3-5. Total de respuestas a la pregunta 4.

Pregunta	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en desacuerdo/ ni de acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
¿Es importante que un modelo sea de fácil aplicación e interpretación para todas las personas que intervienen en los procesos decisivos?	0	0	0	1	14

Fuente: Elaboración propia (2017)

Promedio =4.93, Moda =5, Mediana =5

De acuerdo a la *mediana* obtenida de las respuestas a la pregunta 4 (Tabla 3-5) y a la equivalencia mostrada en la tabla de valores asignados a la escala (Tabla 3-1), se concluye que, las respuestas de los funcionarios entrevistados tienden a mostrar que están **totalmente de acuerdo** en que es importante que los modelos sean accesibles a quienes los operan.

Resultados pregunta 5:

Tabla 3-6. Total de respuestas a la pregunta m 5.

Pregunta	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en desacuerdo/ ni de acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
¿Es importante la cantidad, calidad y disposición de datos para que un modelo realmente apoye las decisiones?	0	0	0	1	14

Fuente: Elaboración propia (2017)

Promedio =4.93, Moda =5, Mediana =5

De acuerdo a la *mediana* obtenida de las respuestas a la pregunta 5 (Tabla 3-6) y a la equivalencia mostrada en la tabla de valores asignados a la escala (Tabla 3-1), se concluye que, las respuestas de los funcionarios entrevistados tienden a mostrar que

están **totalmente de acuerdo** en que es importante contar con información de calidad para alimentar a los modelos.

Resultados pregunta 6:

Tabla 3-7. Total de respuestas a la pregunta 6.

Pregunta	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en desacuerdo/ni de acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
¿Es necesario considerar los costos de evacuación y daños en la toma de decisiones en casos de evacuación por inundación?	1	1	0	1	11

Fuente: Elaboración propia (2017)

Promedio =4.40, Moda =5, Mediana =5

De acuerdo a la *mediana* obtenida de las respuestas a la pregunta 6 (Tabla 3-7) y a la equivalencia mostrada en la tabla de valores asignados a la escala (Tabla 3-1), se concluye que, las respuestas de los funcionarios tienen una tendencia a mostrar que están **totalmente de acuerdo** en que se deben considerar los costos de actuar y no actuar en una contingencia.

Resultados pregunta 7:

Tabla 3-8. Total de respuestas a la pregunta 7.

Pregunta	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en desacuerdo/ni de acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
En situaciones de decidir: ¿la vida de las personas es más importante que cualquier otra pérdida para decidir el momento de actuar en casos de inundación?	0	1	0	1	13

Fuente: Elaboración propia (2017)

Promedio =4.73, Moda =5, Mediana =5

De acuerdo a la *mediana* obtenida de las respuestas a la pregunta 7 (Tabla 3-8) y a la equivalencia mostrada en la tabla de valores asignados a la escala (Tabla 3-1), se concluye que, las respuestas de los funcionarios entrevistados tienden a mostrar que están **totalmente de acuerdo** en que la vida de las personas es lo más importante al momento de decidir ante un desastre.

Resultados pregunta 8:

Tabla 3-9. Total de respuestas a la pregunta 8.

Pregunta	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en desacuerdo/ ni de acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
En caso de una evacuación fallida (se evacuaron las personas pero no sucedió el evento), ¿se ve afectado el nivel de credibilidad de las dependencias?	1	2	5	2	5

Fuente: Elaboración propia (2017)

Promedio =3.53, Moda =5, Mediana =3

De acuerdo a la *mediana* obtenida de las respuestas a la pregunta 8 (Tabla 3-9) y a la equivalencia mostrada en la tabla de valores asignados a la escala (Tabla 3-1), se concluye que, las respuestas de los funcionarios entrevistados tienden a evidenciar que no están **ni en desacuerdo/ni de acuerdo** en que se afecte la credibilidad de las dependencias ante la posibilidad de evacuaciones fallidas.

Resultados pregunta 9:

Tabla 3-10. Total de respuestas a la pregunta 9.

Pregunta	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en desacuerdo/ ni de acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
Para una dependencia oficial de apoyo a la población, ¿es importante optimizar los recursos económicos en caso de una inundación?	0	0	2	4	9

Fuente: Elaboración propia (2017)

Promedio =4.47, Moda =5, Mediana =5

De acuerdo a la *mediana* obtenida de las respuestas a la pregunta 9 (Tabla 3-10) y a la equivalencia mostrada en la tabla de valores asignados a la escala (Tabla 3-1), se concluye que, las respuestas de los funcionarios entrevistados tienden a manifestar que están **totalmente de acuerdo** en que se deben optimizar los recursos económicos disponibles para atender una emergencia.

Resultados pregunta 10:

Tabla 3-11. Total de respuestas a la pregunta 10.

Pregunta	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en desacuerdo/ni de acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
Decidir el momento idóneo para actuar en función de la optimización de recursos, ¿significa mayor éxito en la evacuación?	0	0	2	2	10

Fuente: Elaboración propia (2017)

Promedio =4.53, Moda =5, Mediana =5

De acuerdo a la *mediana* obtenida de las respuestas a la pregunta 10 (Tabla 3-11) y a la equivalencia mostrada en la tabla de valores asignados a la escala (Tabla 3-1), se concluye que, las respuestas de los funcionarios entrevistados tienen una tendencia a evidenciar que están **totalmente de acuerdo** en que es importante decidir el momento justo de actuar considerando el menor costo.

Resultados pregunta 11:

Tabla 3-12. Total de respuestas a la pregunta 11.

Pregunta	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en desacuerdo/ni de acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
En el contexto local, ¿las personas prefieren optar por la ayuda institucional a padecer y/o resistir una inundación sin ayuda, considerando que los daños pueden ser mayores?	0	1	5	5	4

Fuente: Elaboración propia (2017)

Promedio =3.80, Moda =3, Mediana =4

De acuerdo a la *mediana* obtenida de las respuestas a la pregunta 11 (Tabla 3-12) y a la equivalencia mostrada en la tabla de valores asignados a la escala (Tabla 3-1), se concluye que, las respuestas de los funcionarios tienden a mostrar que están **de acuerdo** en que la población prefiere optar por la ayuda institucional a resistir una inundación sin ayuda.

Resultados pregunta 12:

Tabla 3-13. Total de respuestas a la pregunta 12.

Pregunta	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en desacuerdo/ ni de acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
¿Es importante la credibilidad para las instancias oficiales, considerando que esta se logra mediante buenas decisiones?	0	0	2	3	10

Fuente: Elaboración propia (2017)

Promedio =4.53, Moda =5, Mediana =5

De acuerdo a la *mediana* obtenida de las respuestas a la pregunta 12 (Tabla 3-13) y a la equivalencia mostrada en la tabla de valores asignados a la escala (Tabla 3-1), se concluye que, las respuestas de los funcionarios entrevistados tienden a evidenciar que están **totalmente de acuerdo** en que la credibilidad de las instituciones depende de tomar buenas decisiones.

3.2 Hallazgos relevantes del estudio de campo para el desarrollo del modelo

En el diseño del instrumento, se consideraron tres variables importantes: la variable independiente, la variable dependiente y la variable interviniente. Los ítems aplicados permitieron identificar la opinión de los encuestados sobre la existencia de modelos de apoyo a las decisiones en el contexto de aplicación, algunas características básicas de los modelos aplicados y del modelo potencial, la importancia de los modelos para mejorar la toma de decisiones en las dependencias, lo importante que es para estas dependencias oficiales de ayuda tomar buenas decisiones. Estas relaciones y las evidencias encontradas se resumen en la Tabla 3-14.

Tabla 3-14 Resumen de hallazgos estudio de campo.

Variable	Significado	Contenido de la pregunta	Resultados del estudio de campo
Independiente	Costos tangibles	En un modelo de apoyo a las decisiones, ¿se deben tomar en cuenta los costos del evento y las probabilidades de ocurrencia?	De acuerdo
		En situaciones de decidir: ¿la vida de las personas es más importante que cualquier otra pérdida para decidir el momento de actuar en casos de inundación?	Totalmente de acuerdo
		(En caso de aplicar alguno, ¿se usan pronósticos anticipados (por ejemplo cuatro, tres, dos y un día) antes del suceso para identificar escenarios?	De acuerdo
		¿Es necesario, en un modelo de apoyo a las decisiones, tomar en cuenta los costos de evacuación y las probabilidades de ocurrencia?	Totalmente de acuerdo
Dependiente	Modelo probabilístico de apoyo a la toma de decisiones	¿Es importante que un modelo sea de fácil aplicación e interpretación de sus resultados para todas las personas que intervienen en los procesos decisorios?	Totalmente de acuerdo
		¿Es importante la cantidad, calidad y disposición de datos para que un modelo realmente apoye las decisiones?	Totalmente de acuerdo
Interviniente	Instancias oficiales de ayuda	En caso de una evacuación fallida (se evacuaron las personas pero no sucedió el evento), ¿se ve afectado el nivel de credibilidad de las dependencias?	Ni en desacuerdo/ni de acuerdo
		¿Es importante para una dependencia oficial de apoyo a la población, optimizar los recursos económicos en caso de inundación?	Totalmente de acuerdo
		Decidir el momento idóneo para actuar en función de la optimización de recursos, ¿significa mayor éxito en la evacuación?	Totalmente de acuerdo
		En el contexto local, ¿las personas prefieren optar por la ayuda institucional a padecer y/o resistir una inundación sin ayuda, considerando que los daños pueden ser mayores?	De acuerdo
		¿Es importante la credibilidad para las instancias oficiales, considerando que ésta se logra mediante buenas decisiones?	Totalmente de acuerdo

Fuente: Elaboración propia (2017)

Hallazgos del estudio de campo

- 1) Las respuestas obtenidas en el estudio de campo sobre la existencia y aplicación de modelos de apoyo para apoyar decisiones en casos de evacuación muestran una tendencia a **estar de acuerdo** en que existen modelos. Sin embargo, no se pudo confirmar con exactitud a qué tipo de modelos refieren los encuestados. Al respecto, cabe la posibilidad de actuaciones sin el apoyo de éstos como se indicó en la sección 1.7.1, o bien, a sesgos de información evidenciados por una Alfa de Cronbach por debajo de 0.7 de acuerdo a Celina y Campo (2005).
- 2) Las respuestas de los funcionarios tienden a mostrar que están **totalmente de acuerdo** en que se trabaja con pronósticos anticipados y que es de suficiente importancia que se consideren los costos, las probabilidades de ocurrencia y que los modelos deben ser accesibles al usuario.
- 3) Se encontró, de acuerdo a las respuestas, una tendencia a considerar de vital importancia que los modelos se nutran de datos confiables para que las decisiones apoyadas sean igualmente confiables.
- 4) Hay una tendencia de las respuestas a evidenciar que se está **de acuerdo** en que se debe considerar todos los costos posibles derivados del evento en cualquier modelo y que la vida de las personas es el activo preponderante en toda decisión. Esta afirmación tiene validez universal que se reitera en diversos estudios abordados.
- 5) Se reconoció a través de las tendencias observadas en las respuestas obtenidas por el instrumento las posibilidades de falla en las decisiones y que ante la complejidad de los estados de emergencia, estas fallas no afectan, necesariamente, la credibilidad de las instituciones, aunque el ideal para una mejor competencia de las instancias es tomar buenas decisiones.
- 6) La optimización de recursos es primordial si ello depende de asociar tiempos y costos. La resiliencia de la población juega un papel importante en los procesos de evacuación. Esto resulta deseable desde el punto de vista de la optimización de tiempo y recursos en situaciones de riesgo.

De acuerdo a las tendencias de las respuestas obtenidas, el modelo sugerido por el estudio de campo para apoyar decisiones en casos de evacuación de personas por desbordamiento de ríos de planicie, debe asociar los costos del suceso con las probabilidades de ocurrencia en un marco estricto de simplicidad y confiabilidad para tomar mejores decisiones que coadyuven a mejorar la credibilidad de las instituciones.

3.3 Desarrollo del Modelo Preliminar

La elección del modelo probabilístico desarrollado se fundamentó en tres criterios: 1) Las características de simplicidad y las posibilidades de adaptación a otros contextos de algunos componentes o características del modelo desarrollado por Frieser (2004) descritas en la sección 2.3.4, 2) Los resultados del trabajo de campo abordado en las secciones 2.6 y 3.2; y 3) Los planteamientos de aportados por García (2006) y Balladares *et al.*, (2016) respecto a la aplicación de modelos en contextos donde los insumos de entrada son limitados. El modelo de apoyo a las decisiones en evacuación propuesto para su desarrollo se basó en la aplicación de decisiones secuenciales. Éste permitió resolver algunos inconvenientes planteados por Freiser (2004), cuando se presentan o se realizan evacuaciones tempranas o evacuaciones tardías. Considerando los costos tangibles más importantes definidos en la sección 2.5.2, como Costos Totales por Daños (\$CTD) y Costos Totales por Evacuación (\$CTE), éstos tienen comportamientos en función del momento de actuar que se detallan en la Tabla 3-15.

Tabla 3-15. Consecuencias de decidir en etapa temprana o tardía una evacuación.

Factor	Evacuación en etapa temprana	Evacuación en etapa tardía	Razones
Número de víctimas mortales Costos totales por daños (\$ CTD)	Baja	Alta	El número de víctimas mortales aumenta a medida que el tiempo disponible para una evacuación disminuye.
Costos totales de evacuación (\$ CTE)	Alta	Baja	Los costos aumentan a medida que las personas están separadas de sus hogares durante un período más largo.

Fuente: Adaptada de Frieser, 2004

Ante esta situación compleja, la herramienta *Árboles de Decisión* permite relacionar ambos costos con las probabilidades de ocurrencia de un evento.

En el caso particular de una inundación, en la Figura 3-1 se observa que existen dos posibles situaciones críticas en relación a los costos: \$CTE (Costos Totales de evacuación) y \$CTD (Costos Totales por Daños). Cuando ocurre una evacuación temprana y no se presenta la inundación, los \$CTE son máximos. Mientras que, si no se evacúa y ocurre una inundación, los \$CTD son máximos. Ambas situaciones no son convenientes por sus implicaciones sociales; por un lado ante evacuaciones fallidas la población pierde la credibilidad en los organismos gubernamentales. Por otra parte, la probabilidad de pérdidas de vidas humanas es mayor ante una evacuación abortada o retardada y una inundación efectiva.

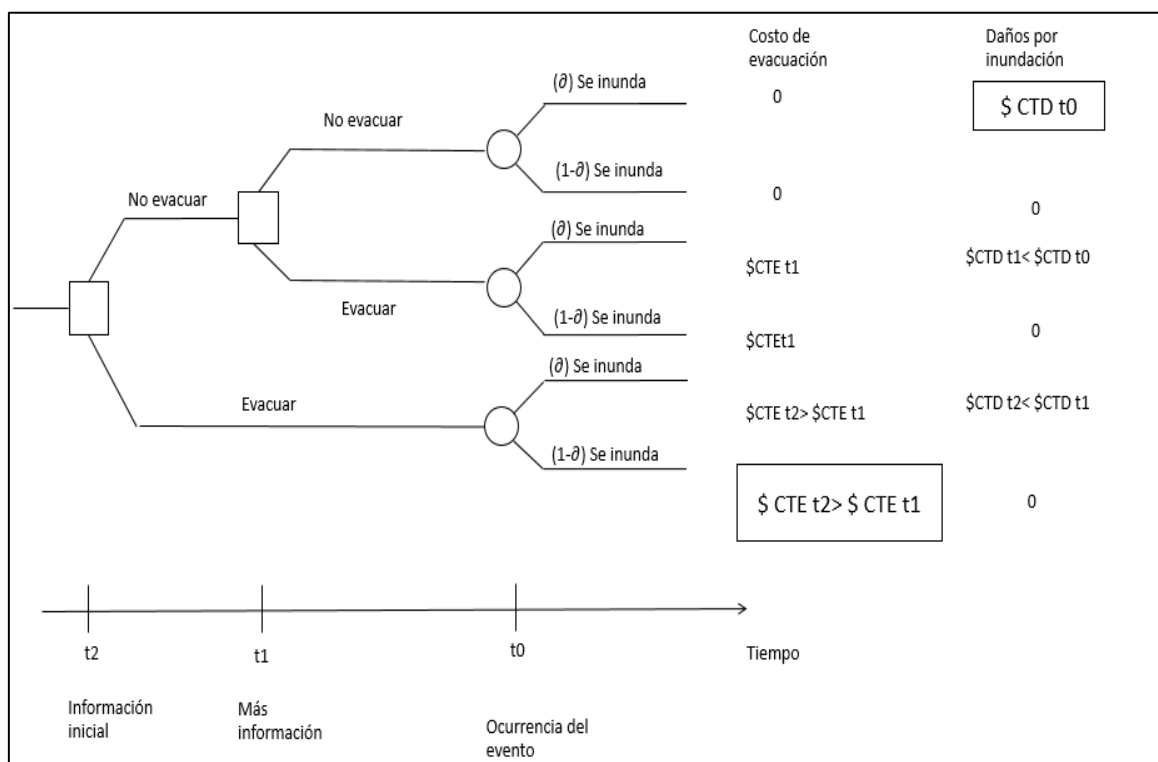


Figura 3-1. Decisiones secuenciales. Fuente: Adaptada de Frieser, 2004

El desarrollo del modelo probabilístico de toma de decisiones propuesto, se sustentó en el siguiente planteamiento: durante un desastre, las decisiones que se toman sobre el momento de iniciar el proceso de evacuación tiene efectos económicos tangibles e intangibles: Costos Totales por Evacuación (\$CTE) y Costos Totales por daños (\$CTD). Los primeros se integran considerando, los costos por desalojo, retorno, manutención y personal de apoyo o logística necesario para atender la eventualidad. Los segundos se integran considerando el porcentaje de víctimas humanas y el valor económico por deceso estimado de acuerdo a las instancias aseguradoras del país. Adicionalmente, la probabilidad del suceso y para la determinación de ésta se requiere otras fuentes de información y su determinación, tal y como fue discutido en la sección 2.4. En la figura 3-2 se ilustra el modelo probabilístico desarrollado. El bloque de *insumos* aporta al modelo la probabilidad de desbordamiento (sección 2.4.2) y los principales costos tangibles (sección 2.5.2) para un horizonte de N días. Dispuestos los insumos, el modelo aplica decisiones secuenciales mediante árboles de decisión y aporta los resultados siguientes: evacuar o no evacuar y esperar un día para actualizar la información para generar nuevos insumos. Ante esta última posibilidad, el modelo se aplica nuevamente para un horizonte de N-1 día. Cabe destacar que siendo los árboles una herramienta

creada originalmente para optimizar ganancias, en el modelo se aplica desde el enfoque de mostrar a los comités de decisión el costo mínimo de actuación.

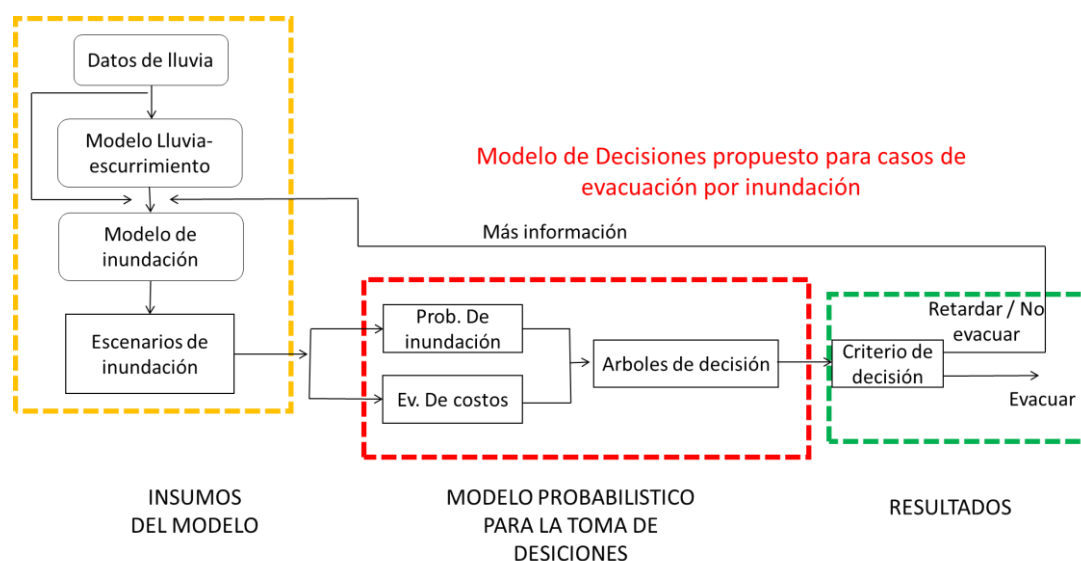


Figura 3-2. Modelo probabilístico de toma de decisiones para casos de inundación.
Fuente: Elaboración propia (2017)

A continuación, se describe la metodología de aplicación del modelo en cinco pasos.

METODOLOGÍA

Se aplicaron los árboles de decisión para obtener un panorama futuro del desarrollo del evento de inundación (escenario), cuyos costos y probabilidades evolucionan con el tiempo. En la aplicación del modelo se siguieron los siguientes pasos:

Paso 1: A partir de un pronóstico extendido de N días (4 días de preferencia de acuerdo a Freiser) antes de la de ocurrencia de una inundación; se selecciona el *escenario de inundación* respectivo para definir las condiciones probables que se tendrán del pronóstico: población afectada, rutas de evacuación, albergues disponibles, puntos de encuentro, etc. En este paso se selecciona la posible *curva de respuesta de la población* al proceso de evacuación.

Cabe destacar que no queda exento el uso o aplicación de cualquier otra herramienta, como el *análisis multicriterio AHP*, por ejemplo, la metodología introducida por Saaty

(Osorio y Orejuela, 2008; Pérez *et al.*, 2003) la cual capitaliza muy bien la experiencia de los tomadores de decisiones para decidir entre diferentes alternativas de albergues disponibles o rutas disponibles en caso de una emergencia.

Paso 2: A partir de este primer pronóstico y el escenario respectivo, se decide el monto asegurado por fallecimiento a considerar en la evaluación y se calculan los costos totales por evacuación (\$CTE) y por daños (\$CTD) para N días y se construye el árbol de decisión usando el software libre Treeplan para este horizonte de planificación. En este trabajo se aplicó un monto asegurado por fallecimiento de \$ 374,000 por persona (SEGUROS, 2010). En la aplicación del modelo se pueden considerar otros montos en caso de que los comités de decisión lo consideren pertinente.

Paso 3: En este paso se puede tomar la decisión sobre: a) evacuar b) posponer la evacuación hasta el día siguiente en espera de nueva información o c) no evacuar. Esta decisión se da en función de los costos esperados obtenidos del árbol del paso anterior y la *curva de evacuación* respectiva.

Paso 4: Si la decisión en el paso 3, fue la b) o la c); se recurre a la opción de actualizar el pronóstico para el día siguiente. Se construye un nuevo árbol con un horizonte de planificación de (N-1) días a partir de las nuevas probabilidades y los costos calculados en el paso 2.

Paso 5: En este paso se puede tomar la decisión nuevamente sobre: a) evacuar b) no evacuar o se puede recurrir a actualizar el pronóstico para N-2 días si es necesario considerando que no podrá agotarse el margen mínimo de tiempo necesario para evacuar a la mayor parte de la población de acurdo a la curva de evacuación del evento.

4. CASO DE APLICACIÓN PARA VALIDACION DEL MODELO

4.1 Antecedentes

En el año 2007, el estado de Tabasco, en México, sufrió la inundación más grave de los últimos cincuenta años (Rivera *et al.*, 2009, 2010), originado por la presencia de la tormenta tropical Noel y el frente frío proveniente de los Estados Unidos de América de acuerdo a lo documentado en el Sistema Meteorológico Nacional (María y Torre, 2010) presentado en el periodo del 29 de octubre al 1° de noviembre. Como consecuencia, en sólo cuatro días se tuvo en la región una precipitación equivalente a la total de un año (SMN, 2008). Donde se reportaron importantes daños a la infraestructura del estado de Tabasco (Arreguín *et al.*, 2014).

La zona de estudio (Sección 4.2) ha sufrido los embates de diferentes eventos históricos, en cuyos casos la respuesta de los órganos oficiales ha sido el reforzamiento de los bordos con costalería a base de arena hasta la cota 7.50 msnm. Sin embargo, el evento de 2007 fue catalogado como el más grave de los últimos cincuenta años (Rivera, 2009), originado por la tormenta tropical Noel y un frente frío proveniente de Estados Unidos de América de acuerdo al Sistema Meteorológico Nacional (2008) (Perevochtchivoka y Lezama, 2010), presentado en el periodo del 29 de octubre al 1° de noviembre de 2007. Como consecuencia, en cuatro días se tuvo en la zona una precipitación equivalente al total de un año (SMN, 2008). El evento originó el desbordamiento sobre la cota 7.50 msnm (Figura 4-1), sobre la margen izquierda del Río Grijalva que atraviesa la Ciudad de Villahermosa Tabasco, México.



Figura 4.1 Inundación en la zona de estudio. Fuente: Centro (2009)

4.2 Zona de EstudioEl área seleccionada (figura 4-2) para aplicar el modelo se denomina Distrito I, de la ciudad de Villahermosa Tabasco, México. Tiene una superficie de 136.7 hectáreas (Centro, 2009) y una población de 16 609 habitantes viviendo en zonas de riesgo alto, medio y bajo. Se ubica en la margen izquierda del Río Grijalva. Está conformado por una heterogeneidad de uso del suelo, traza histórica, plaza central; así como también por otras cinco plazas que fueron parte del desarrollo urbano colonial de este distrito de la ciudad de Villahermosa. Este sector está delimitado por cuatro vialidades primarias de la ciudad: el Boulevard Adolfo Ruiz Cortínez y el Malecón

Carlos A. Madrazo, la Avenida 27 de Febrero y la Avenida Paseo Tabasco.



Figura 4-2. Área de estudio. Fuente: Adaptada de Google Earth 4.3 Escenario de Inundación

4.3.1 Datos básicos del escenario

Conocer los escenarios de inundación es absolutamente necesario debido a que a partir de ellos se pueden asignar los albergues, las rutas seguras hacia ellos y los *puntos de encuentro*. Sobre los *puntos de encuentro* deberá entenderse como aquellos sitios accesibles y cercanos a la zona inundada desde donde se transportará a las personas hacia los albergues.

Para efectos de calcular los costos de *desalojo/retorno* abordados en este trabajo, se consideraron para la zona de estudio, seis albergues ubicados fuera de la zona de estudio y dos dentro de ella. Ver Tabla 4-1, Figura 4-3 y Figura 4-4. Esta asignación obedece a los criterios de la Coordinación Estatal de Protección Civil (CEPC-Tabasco, 2014) y a los criterios establecidos en el Atlas de Riesgo del Municipio de Centro (Centro, 2009). Para efectos de simplificar los cálculos del costo de transportación de la zona afectada a los albergues y viceversa, se consideró una *distancia media* entre los diferentes albergues y los puntos de encuentro de la zona afectada.

Tabla 4-1. Distancia media entre puntos de encuentro y albergues (zona de estudio).

No.	Nombre /ubicación	Ubicación del punto de reunión	Distancia desde el punto de encuentro al albergue (metros)
1	Escuela Estatal Concha Linares/Av. 27 de febrero	(Parque Morelos)/Av. 27 de Febrero esq. López Rayón	184
		Esquina Pagés Llergo y Arboledas	2200
		Esquina Méndez y Pagés Llergo	2000
		Esq. Pedro C. Colorado y Galeana	729
2	Esc. Prim. Manuel Sánchez Mármol (Av. 5 de Mayo 438)	Parque de los pajaritos(5 de Mayo y Zaragoza	100
		Plaza de armas	200
3	Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (Av. Universidad, Col Magisterial)	Esquina Pagés Llergo y Arboledas	1612
		Esquina Méndez y Pagés Llergo	1812
4	Parque Tomás Garrido Canabal (Paseo Tabasco y Ruiz Cortinez)	Esquina Pagés Llergo y Arboledas	2698
		Esquina Méndez y Pagés Llergo	2898
5	Centro de Convenciones Tabasco 2000 (Prolongación Paseo Tabasco)	Esquina Pagés Llergo y Arboledas	2867
		Esquina Méndez y Pagés Llergo	3067
6	Centenario 27 de Febrero (Ciudad Deportiva Villahermosa)	Esquina Pagés Llergo y Arboledas	4100
		Esquina Méndez y Pagés Llergo	3900
7	Colegio de Bachilleres Plantel 1 (Velódromo Ciudad Deportiva Villahermosa)	Esquina Pagés Llergo y Arboledas	6100
		Esquina Méndez y Pagés Llergo	5900
8	Naves del Parque Tabasco (Prolongación Paseo Usumacinta-parque de feria)	Esquina Pagés Llergo y Arboledas	5200
		Esquina Méndez y Pagés Llergo	5000
Distancia media en (Km.) Punto de encuentro- albergues			2.81

Fuente: Elaboración propia (2017)

TESIS: Desarrollo de un modelo probabilístico para la toma de decisiones en casos de evacuación de población en riesgo por inundación: estudio empírico aplicado en Tabasco, México.

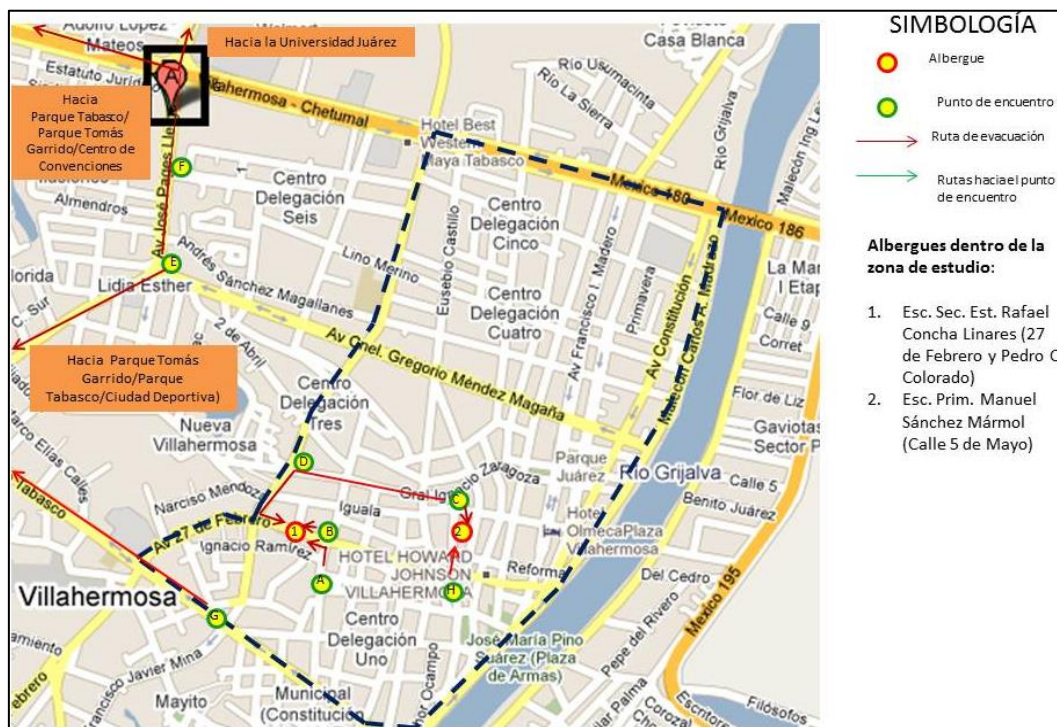


Figura 4-3. Ubicación de los albergues dentro de la zona de estudio. Fuente: Adaptada de Google Earth

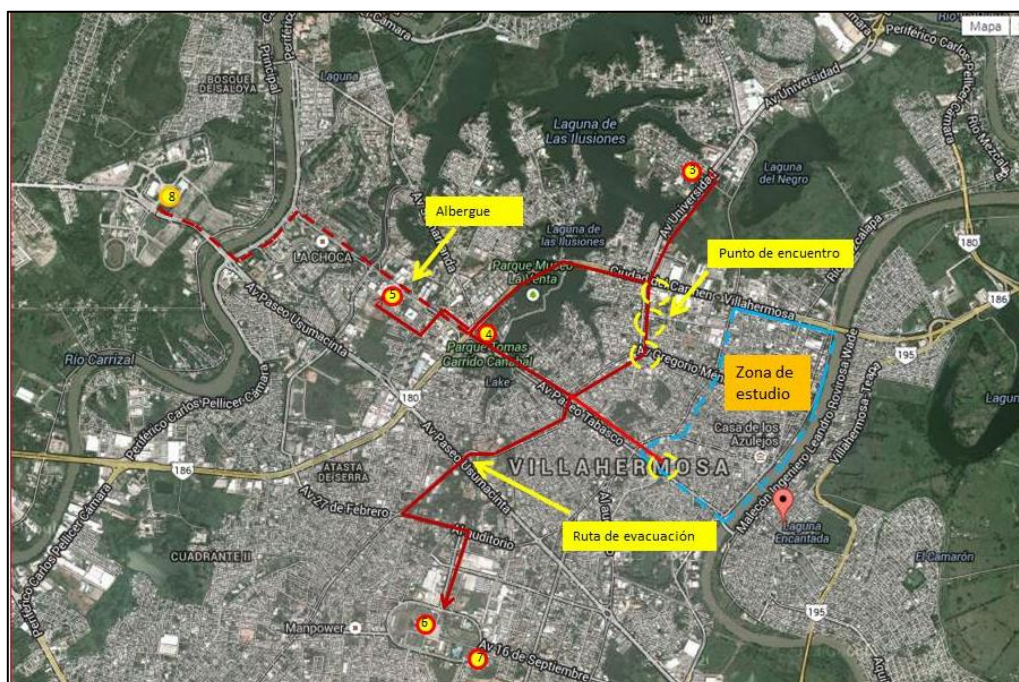


Figura 4-4. Ubicación de los albergues fuera de la zona de estudio. Fuente: Adaptada de Google Earth



Figura 4-5 Área afectada. Fuente: Adaptada de Google Earth

4.3.2 Cálculo afinado de la probabilidad

Obtención de la Probabilidad para cinco días previos y ($\Delta h_{\text{pred}} = 40$ cm intervalo de precisión antes del umbral de desbordamiento descrito en la Sección 2.4.2)

Se generaron datos para 5 días previos (Tabla 4-2). Con los registros oficiales de la estación Gaviotas II - CONAGUA, se implementó un proceso de generación de datos mediante metodología de simulación probabilística Montecarlo descrita en la sección 2.4.2, utilizando como herramienta de cómputo el software estadístico *R-project*. Se usaron como datos iniciales los tirantes del evento extraordinario del año 2007 registrado en la estación de CONAGUA (Gaviotas II), ubicada a 200 metros del punto de desbordamiento en la cota 7.50 snmm (Figura 4-2) (ANEXO A). A partir de estos datos de predicción generados por simulación Montecarlo se obtuvieron: el *sesgo* de la serie respecto al valor verdadero (*bias* Δh) y la *desviación estándar* (*r.m.s.*) asociada a un conjunto de datos ($n=25$) (Tabla 4-3).

Como se indicó en la sección 2.4.2, para el cálculo de probabilidades de desbordamiento, es importante definir el grado de precisión $(\Delta h)_{\text{pred}}$ como margen requerido para el cálculo esta probabilidad.

En esta sección se consideraron 40 cm como grado de precisión (Tabla 4-4.). En el ANEXO B, se muestran los cálculos de probabilidades para diferentes valores de $(\Delta h)_{\text{pred}}$ y hasta cinco días previos.

TESIS: Desarrollo de un modelo probabilístico para la toma de decisiones en casos de evacuación de población en riesgo por inundación: estudio empírico aplicado en Tabasco, México.

Tabla 4-2. Simulación para cinco días previos.

Measurement		5 days prediction			4 days prediction			3 days prediction			2 days prediction			1 day prediction		
Date [dd-mm-yy]	Water level [m+NAP]	Date [dd-mm-yy]	Water level [m+NAP]	Δh [m]	Date [dd-mm-yy]	Water level [m+NAP]	Δh [m]	Date [dd-mm-yy]	Water level [m+NAP]	Δh [m]	Date [dd-mm-yy]	Water level [m+NAP]	Δh [m]	Date [dd-mm-yy]	Water level [m+NAP]	Δh [m]
20-10-07	5.34													19-10-07	5.64	-0.30
21-10-07	5.45										19-10-07	4.96	0.49	20-10-07	5.10	0.35
22-10-07	5.46										20-10-07	4.76	0.70	21-10-07	5.67	-0.21
23-10-07	5.41				19-10-07	5.37	0.04	20-10-07	5.25	0.16	21-10-07	5.17	0.24	22-10-07	5.24	0.17
24-10-07	5.69	19-10-07	5.26	0.43	20-10-07	5.82	-0.13	21-10-07	5.70	-0.01	22-10-07	5.74	-0.05	23-10-07	6.11	-0.42
25-10-07	5.92	20-10-07	5.38	0.54	21-10-07	5.90	0.02	22-10-07	5.76	0.16	23-10-07	6.04	-0.12	24-10-07	6.36	-0.44
26-10-07	6.10	21-10-07	5.94	0.16	22-10-07	6.00	0.10	23-10-07	5.95	0.15	24-10-07	6.23	-0.13	25-10-07	5.83	0.27
27-10-07	6.22	22-10-07	6.26	-0.04	23-10-07	6.50	-0.28	24-10-07	6.25	-0.03	25-10-07	6.16	0.06	26-10-07	6.55	-0.33
28-10-07	6.26	23-10-07	6.36	-0.10	24-10-07	6.67	-0.41	25-10-07	6.40	-0.14	26-10-07	6.29	-0.03	27-10-07	6.42	-0.16
29-10-07	6.54	24-10-07	6.63	-0.09	25-10-07	6.69	-0.15	26-10-07	6.73	-0.19	27-10-07	6.91	-0.37	28-10-07	6.78	-0.24
30-10-07	6.77	25-10-07	6.74	0.03	26-10-07	6.97	-0.20	27-10-07	6.90	-0.13	28-10-07	6.64	0.13	29-10-07	6.76	0.01
31-10-07	7.15	26-10-07	7.16	-0.01	27-10-07	7.17	-0.02	28-10-07	7.17	-0.02	29-10-07	7.19	-0.04	30-10-07	7.18	-0.03
01-11-07	7.64	27-10-07	7.69	-0.05	28-10-07	7.62	0.02	29-10-07	7.68	-0.04	30-10-07	7.66	-0.02	31-10-07	7.65	-0.01
02-11-07	7.81	28-10-07	7.76	0.05	29-10-07	7.73	0.08	30-10-07	7.93	-0.12	31-10-07	7.85	-0.04	01-11-07	7.87	-0.06
03-11-07	7.73	29-10-07	7.76	-0.03	30-10-07	7.74	-0.01	31-10-07	7.77	-0.04	01-11-07	7.78	-0.05	02-11-07	7.77	-0.04
04-11-07	7.51	30-10-07	7.51	0.00	31-10-07	7.51	0.00	01-11-07	7.51	0.00	02-11-07	7.51	0.00	03-11-07	7.51	0.00
05-11-07	7.19	31-10-07	7.23	-0.04	01-11-07	7.21	-0.02	02-11-07	7.22	-0.03	03-11-07	7.17	0.02	04-11-07	7.15	0.04
06-11-07	6.92	01-11-07	7.05	-0.13	02-11-07	6.96	-0.04	03-11-07	6.91	0.01	04-11-07	7.02	-0.10	05-11-07	7.03	-0.11
07-11-07	6.70	02-11-07	6.82	-0.12	03-11-07	6.65	0.05	04-11-07	6.64	0.06	05-11-07	6.77	-0.07	06-11-07	6.81	-0.11
08-11-07	6.50	03-11-07	6.44	0.06	04-11-07	6.58	-0.08	05-11-07	6.68	-0.18	06-11-07	6.55	-0.05	07-11-07	6.25	0.25
09-11-07	6.34	04-11-07	6.54	-0.20	05-11-07	5.96	0.38	06-11-07	6.23	0.11	07-11-07	5.98	0.36	08-11-07	6.10	0.24
10-11-07	6.22	05-11-07	6.34	-0.12	06-11-07	6.23	-0.01	07-11-07	6.43	-0.21	08-11-07	6.68	-0.46	09-11-07	6.32	-0.10
11-11-07	6.06	06-11-07	6.14	-0.08	07-11-07	6.61	-0.55	08-11-07	6.21	-0.15	09-11-07	6.29	-0.23	10-11-07	6.16	-0.10
12-11-07	5.89	07-11-07	5.39	0.50	08-11-07	6.08	-0.19	09-11-07	5.60	0.29	10-11-07	5.73	0.16	11-11-07	5.75	0.14
13-11-07	5.66	08-11-07	6.32	-0.66	09-11-07	5.85	-0.19	10-11-07	5.38	0.28	11-11-07	5.14	0.52	12-11-07	5.77	-0.11
14-11-07	5.46	09-11-07	5.78	-0.32	10-11-07	6.13	-0.67	11-11-07	6.30	-0.84	12-11-07	5.49	-0.03			
15-11-07	5.23	10-11-07	5.00	0.23	11-11-07	5.84	-0.61	12-11-07	5.63	-0.40						
16-11-07	5.03	11-11-07	4.34	0.69	12-11-07	5.20	-0.17									
18-11-07	4.78	12-11-07	4.81	-0.03												
bias Δh (high water 2007) [m]				0.028			-0.121			-0.056			0.035			-0.052
r.m.s Δh (high water 2007) [m]				0.283			0.238			0.227			0.262			0.210

Fuente: Adaptada de Frieser, 2004

Tabla 4-3. Valores *bias* Δh y *r.ms.* Δh de la tabla 4-2.

Modelo de predicción	Tiempo de espera de predicción (j)				
	5 días	4 días	3 días	2 días	1 día
Río de planicie (Grijalva)	bias $\Delta h = 2.8$ cm	bias $\Delta h = -12.1$ cm	bias $\Delta h = -5.6$ cm	bias $\Delta h = 3.5$ cm	bias $\Delta h = -5.2$ cm
	r.m.s. $\Delta h = 28.3$ cm	r.m.s. $\Delta h = 23.8$ cm	r.m.s. $\Delta h = 22.7$ cm	r.m.s. $\Delta h = 26.2$ cm	r.m.s. $\Delta h = 21$ cm
	n = 25	n = 25	n = 25	n = 25	n = 25

Fuente: Elaboración propia (2017)

Tabla 4-4. Valores de (Δh) asignados a los días de simulación.

Tiempo de predicción	Precisión deseada $(\Delta h)_{\text{pred}}$
(días)	(cm)
4	40
3	40
2	40
1	40

Fuente: Elaboración propia (2017)

La función de probabilidad acumulada de $(\Delta h)_{\text{pred}}$, como una función del tiempo de predicción distribuida normalmente se indica en la Ec. 4.1 y representa la solución numérica de la Ecuación 2.5 de la Sección 2.4.2, la cual se ilustra a continuación

$$f \left((\Delta h)_{\text{pred}}(t_j) \right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\Delta h}(t_j)} \exp \left(-\frac{\left((\Delta h)_{\text{pred}} - \mu_{\Delta h}(t_j) \right)^2}{2\sigma_{\Delta h}(t_j)^2} \right) \quad \text{Ec 4.1}$$

Donde $f \left((\Delta h)_{\text{pred}}(t_j) \right)$ es la función de probabilidad acumulada de $(\Delta h)_{\text{pred}}$ como función del tiempo $t_{j[-]}$ y

$(\Delta h)_{\text{pred}}$	Grado de precisión ([cm])
$\mu_{\Delta h}$	(bias) Sesgo de Δh [cm]
$\sigma_{\Delta h}$	(r.m.s.) Desviación estándar de Δh [cm]

Las funciones y cálculos de probabilidad para los 4 días previos que requiere el modelo propuesto se obtienen de aplicar la ecuación 4.1 a los datos simulados por el método probabilístico Montecarlo mostrados en la Tabla 4.2 y a continuación se ilustran los cálculos respectivos (Tabla 4-5).

Tabla 4-5. Ecuaciones de probabilidad para 4 días consecutivos.

Días de predicción	Ecuación
4 días	$f(\Delta h(t_j)) = \frac{1}{23.8\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{((\Delta h)_{\text{pred}} + 12.1)^2}{1132.88}\right)$
3 días	$f(\Delta h(t_j)) = \frac{1}{22.7\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{((\Delta h)_{\text{pred}} + 5.6)^2}{1030.58}\right)$
2 días	$f(\Delta h(t_j)) = \frac{1}{26.2\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{((\Delta h)_{\text{pred}} - 3.5)^2}{1372.88}\right)$
1 días	$f(\Delta h(t_j)) = \frac{1}{21\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{((\Delta h)_{\text{pred}} + 5.2)^2}{882}\right)$

Fuente: Elaboración propia (2017)

Los resultados de las estimaciones calculadas en la Tabla 4-5 se obtienen de sustituir los $(\Delta h)_{\text{pred}}$ definidos en la Tabla 4-4 en las ecuaciones de la tabla 4-5; obteniéndose las probabilidades de desbordamiento para cada día (Tabla 4-6). Para esta condición se establece que $\mu(t_j)=0$, en virtud de que el modelo se basa en la espera de que, de manera central, la diferencia entre el nivel del río (h) y el nivel de la cresta más alta (h_{cr}), sea 0, como se deduce en la ecuación 2.1.

Tabla 4-6 Probabilidades para 4 días y 40 cm de precisión del método

Prediction lead time(j) [days]	h_{cr} [cm + Nap]	$\mu(t_j)$ [cm]	$\sigma(t_j)$ [cm]	$(\Delta h)_{pred}$ [cm]	$P_f [-]$
4	750	0	23.8	40	0.046
3	750	0	22.7	40	0.039
2	750	0	26.2	40	0.064
1	750	0	21.0	40	0.028

Fuente: Elaboración propia (2017)

Estas probabilidades son los insumos necesarios para alimentar los árboles de decisión que nos permitieron visualizar un horizonte de planificación de 4 días como se describe en la sección 5.1.

4.2 Decisiones sobre las hipótesis sometidas a prueba.

Hipótesis General planteada: *Es posible desarrollar un modelo probabilístico de apoyo a la toma de decisiones en casos de evacuación de población por desbordamiento de un río de planicie utilizando arboles de decisión.*

Para la integración o planteamiento de esta hipótesis general se consideraron cuatro hipótesis específicas, las cuales fueron tomadas en cuenta en el diseño de la investigación.

En relación a la hipótesis general, se planteó lo siguiente: Existe una idea generalizada sobre los tangibles e intangibles que deben guiar las decisiones en las dependencias gubernamentales de ayuda en estos casos, sin embargo se logró integrar y probar un procedimiento metodológico para calcular los principales costos tangibles derivados de un escenario de inundación. Por otra parte, la simulación Montecarlo facilitó obtener la probabilidad de inundación con la posibilidad de permitir a los comités decisorios seleccionar los umbrales antes del desbordamiento. En conjunto estos datos permitieron construir los árboles de decisión los cuales aportaron resultados para apoyar a los comités de decisión.

Se reconoció a través del instrumento aplicado, el uso de modelos de apoyo a las decisiones en casos de emergencia por inundación, sin embargo, no fue posible

detallarlos o conocer sus características básicas. Por otra parte, la credibilidad de las dependencias, entendida como aquella que se forja mediante decisiones certeras, es decir con pronósticos o probabilidades de ocurrencia acertados, no es un asunto del todo prioritario en situaciones de desastres; es decir, muchas situaciones están sujetas a medidas o decisiones de orden político, aunque pudiera considerarse como un aspecto ideal más no práctico. Sin embargo, la percepción social que se tiene sobre la actuación de las dependencias oficiales, y que fue una de las motivaciones no declaradas en esta investigación, indica que se pueden tomar mejores decisiones cuando se aplican o usan modelos de apoyo; sobre todo en aquellas situaciones complejas donde las variables son múltiples y no se vislumbran a simple vista sus posibles relaciones. Por lo tanto **se comprueba la hipótesis general** planteada en este trabajo.

5. RESULTADOS

5.1 Aplicación del Modelo Preliminar

Cuatro días previos al evento y un monto de \$374, 000.00 / fallecimiento/persona

(Establecido en la Sección 2.5.2). Grado de precisión $(\Delta h)_{pred} = 40$ cm.

Se analizó el evento del 2007 cuando el agua superó la cota de desbordamiento de 7.50 m. A partir de este suceso se aplicó el modelo para un intervalo de precisión de $(\Delta h)_{pred} = 40$ cm. y cuatro días previos al suceso. En la Tabla 5-1, se indica el pronóstico extendido para cuatro días generados por el método descrito, (inundaciones de 2007 en el Distrito 1 de Villahermosa Tabasco ($Tr = 100$) (CENAPRED, 2015).

Tabla 5-1. Pronóstico de desbordamiento para cuatro días previos al evento.

Tiempo de espera de predicción (j)	h_{cr}	$\mu (t_j)$	$\sigma (t_j)$	Δh	P_f
(días)	(cm + Nap)	(cm)	(cm)	(cm)	(-)
4	750	0	23.8	40	0.046
3	750	0	22.7	40	0.039
2	750	0	26.2	40	0.064
1	750	0	21	40	0.028

Fuente: Elaboración propia (2017)

Como apoyo al proceso de aplicación del modelo, se sitúa a los tomadores de decisión en las fechas marcadas como **días de observación**.

Día1 de observación: 30 de octubre de 2017, lámina de agua igual a 6.77 msnm y (Ver datos del evento 2007 en ANEXOS).

A continuación se aplica el Modelo de cinco pasos descrito en la sección 3.3.

Paso 1: Se asignaron los *datos básicos* para el escenario propuesto (Tabla 5-2). Se seleccionó la curva de respuesta de la población (Figura 5-2). Esta curva se construyó a partir de datos obtenidos en las visitas a Protección Civil (Sección 1.7.1).

TESIS: Desarrollo de un modelo probabilístico para la toma de decisiones en casos de evacuación de población en riesgo por inundación: estudio empírico aplicado en Tabasco, México.

Tabla 5-2. Datos básicos generados del escenario.

DATOS GENERALES			COSTO BASE		
Concepto	Valor	Fuente	Concepto	Valor	Fuente
Población afectada (Hab) (NA)	12513	Atlas, 2013 Protección Civil	Costo alimentación/día/persona (\$ AD)	\$120.00	CENAPRED
Población Desalojada/Albergada (Hab) (TPDA)	7508	Atlas, 2013 Protección Civil	Salario medio/día/persona (\$ SMD)	\$220.00	Análisis de Salario Real
Capacidad del medio de transporte (personas por unidad) (CT)	15	SEDENA	Costo medio por km recorrido de transporte (\$KMR)=\$(400.00/60)	\$6.66	SEDENA
Distancia media entre albergues y puntos de encuentro (Km) (DMA)	2.8	Definido a partir del escenario	Factor para definir costo por km recorrido	(1/60)	Criterio
Factor para definir personal de logística	(1/20)	SEDENA	Valor económico por deceso (\$VED)	\$374,000.00	AMIS

Fuente: Elaboración propia (2017)

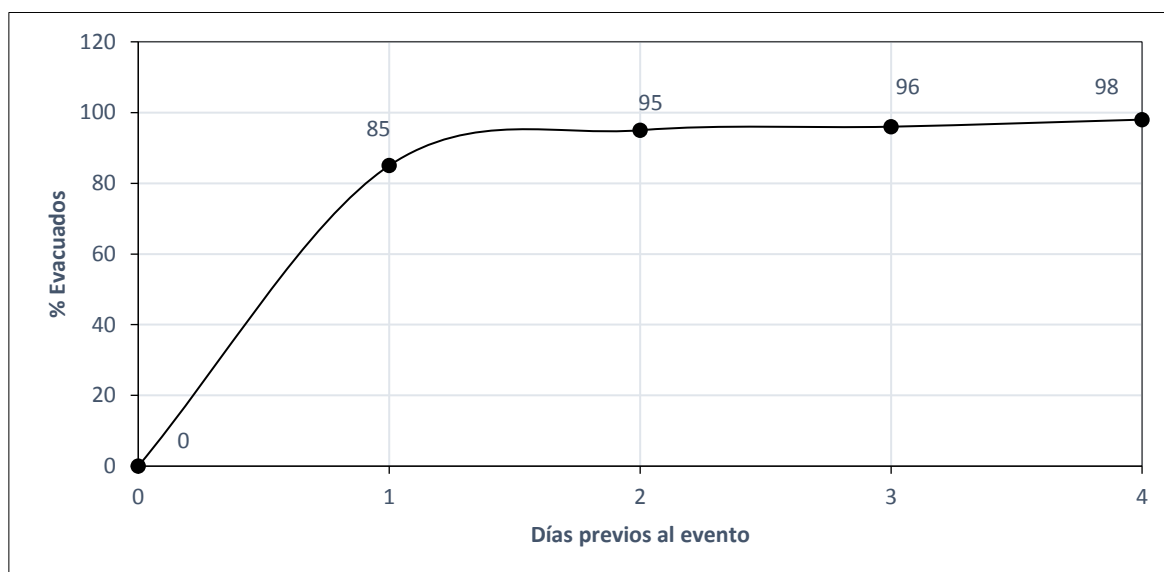


Figura 5-1. Curva de evacuación del evento. Elaboración propia (2017) a partir de datos de campo.

Paso 2: A partir del pronóstico de 4 días, se calcularon los costos totales de evacuación (\$CTE) y daños (\$CTD) aplicando para un monto asegurado de \$374,000/por persona, por fallecimiento. En la Tabla 5-3 y Figura 5- se indican los montos totales obtenidos aplicando las ecuaciones discutidas en la sección 2.5.2.

Tabla 5-3. Costos totales por evacuación (\$CTE) y por decesos (\$CTD).

Días	Desalojo/retorno	Manutención	Logística	Totales (Millones)	Días	Totales (Millones)
	(\$DR)	(\$M)	(\$L)	(\$CTE)		(\$CTD)
0	\$37,373.16	\$2,702,880.00	\$412,929.00	\$3.15	0	\$46.80
1	\$37,373.16	\$3,603,840.00	\$559,572.00	\$4.19	1	\$39.78
2	\$37,373.16	\$4,504,800.00	\$688,215.00	\$5.23	2	\$2.34
3	\$37,373.16	\$5,405,760.00	\$825,858.00	\$6.27	3	\$1.87
4	\$37,373.16	\$6,306,720.00	\$963,501.00	\$7.31	4	\$0.94

Fuente: Elaboración propia (2017)

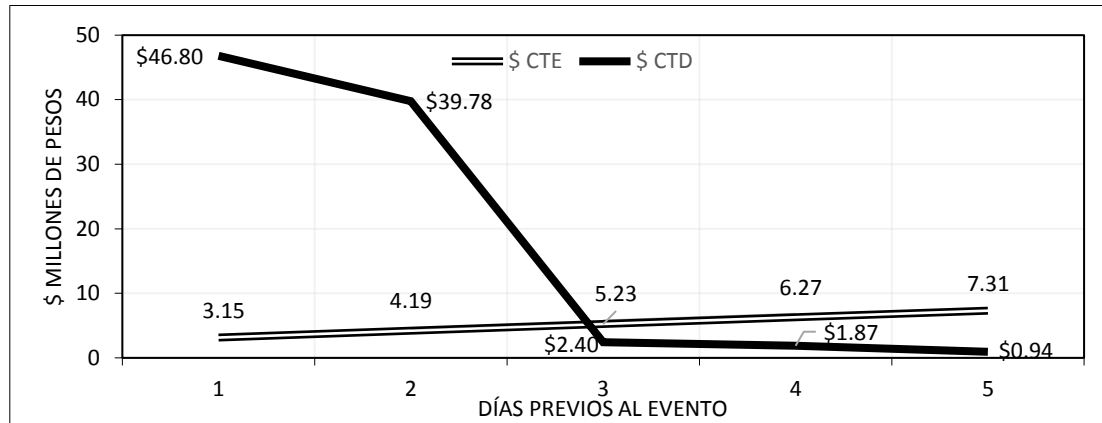


Figura 5-2. Comportamiento de los Costos Totales. Elaboración propia (2017)

En la tabla se observa el comportamiento de los costos en función del tiempo de espera. Se observa que a más días de espera, los Costos Totales por Evacuación (\$CTE) son altos, mientras que los Costos Totales por Daños posibles (\$CTD) son bajos. Inversamente, para una espera menor, los Costos Totales por Evacuación son menores y los Costos Totales por Daños posibles se incrementan de forma considerable.

Paso 3: En la Figura 5- se ilustra el árbol correspondiente para un pronóstico extendido de cuatro días; para esta situación se observa que, si se mantenía el pronóstico sin cambios durante los cuatro días siguientes, y que de acuerdo a la curva de evacuación se requerían por lo menos 48 horas para evacuar al 95 % de la población, pudo no iniciarse una evacuación inmediata. Además, se observa que *evacuar* (7.35 millones) es más caro que no hacerlo (6.34 millones) y fue posible optar por la decisión de *retardar* la misma y *esperar* nueva información que retroalimentara al modelo. En este caso se optó por retardar la evacuación un día para observar la evolución de los niveles en la estación de medición, y así generar un nuevo pronóstico.

TESIS: Desarrollo de un modelo probabilístico para la toma de decisiones en casos de evacuación de población en riesgo por inundación: estudio empírico aplicado en Tabasco, México.

TreePlan Trial Version, For Evaluation Only

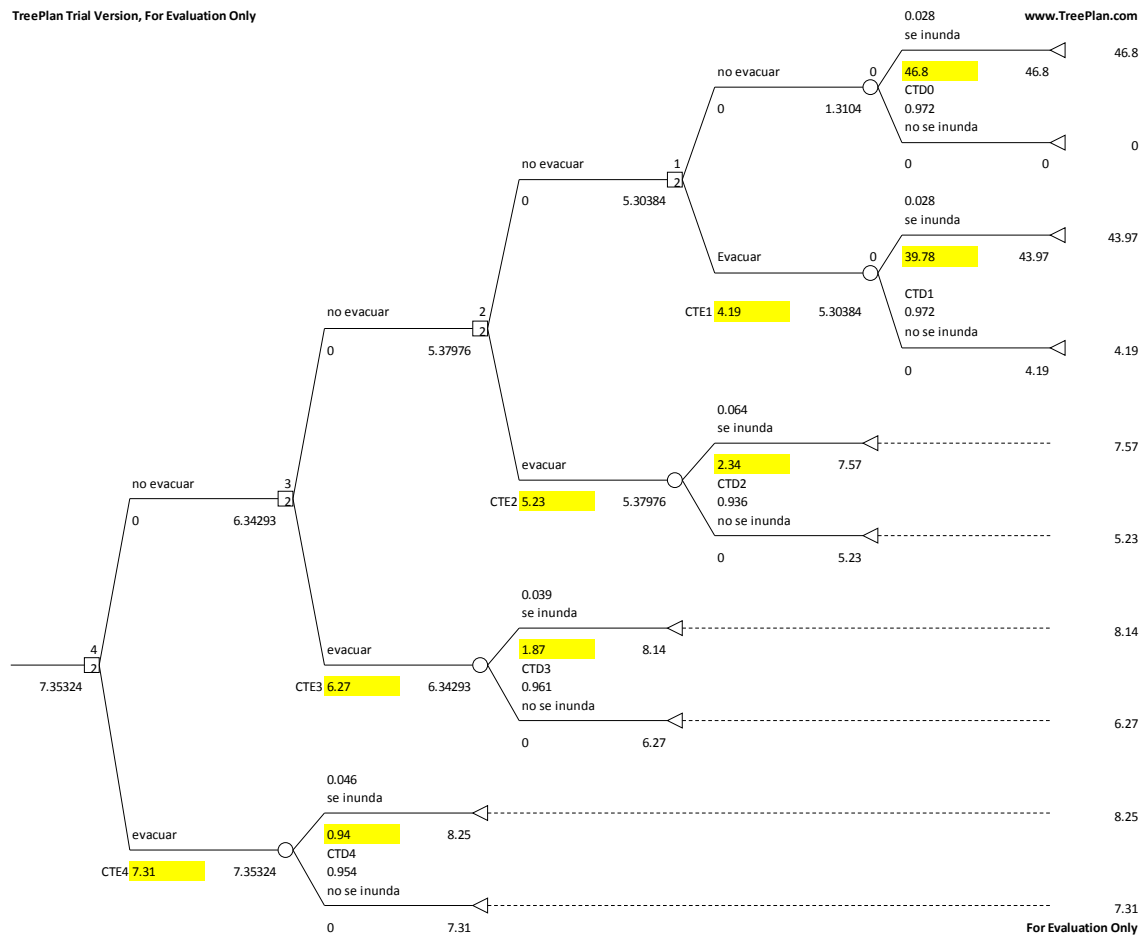


Figura 5-3. Árbol de decisión para 4 días de pronóstico. Elaboración propia (2017)

Día2 de observación: 31 de octubre de 2017, lámina de agua igual a 7.15 msnm

Paso 4: Pronóstico actualizado, para 3 días antes del suceso. Dado que en el paso anterior (3) se optó por retardar la evacuación un día para obtener un nuevo pronóstico. Se generó un nuevo pronóstico a partir del tirante observado el día siguiente (31 de octubre, tirante igual a 7.15 cm). Se estableció un nuevo intervalo de precisión (Δh)_{pred} = 20 cm a partir de la variación a la alza (38 cm en 24 hrs.) del tirante medido entre el día 31 de octubre y el día 21 de noviembre. Siguiendo el mismo procedimiento aplicado para estimar la probabilidad para 4 días, se observa que en el nuevo pronóstico las probabilidades cambiaron drásticamente como se indica en la Tabla 5-4.

Tabla 5-4. Pronóstico para tres días.

Tiempo de espera de predicción (j)	h_{cr}	$\mu (t_j)$	$\sigma (t_j)$	Δh_{cr}	P_f
(días)	(cm + Nap)	(cm)	(cm)	(cm)	(-)
3	750	0	22.7	20	0.189
2	750	0	26.2	20	0.223
1	750	0	21	20	0.17

Fuente: Elaboración propia (2017)

Se construyó un nuevo árbol para este nuevo horizonte de planificación de $(N-1) = 3$ días. Para ello se utilizaron los costos calculados en el paso 2.

De acuerdo al nuevo pronóstico, se construyó el árbol correspondiente (Figura 5-4).

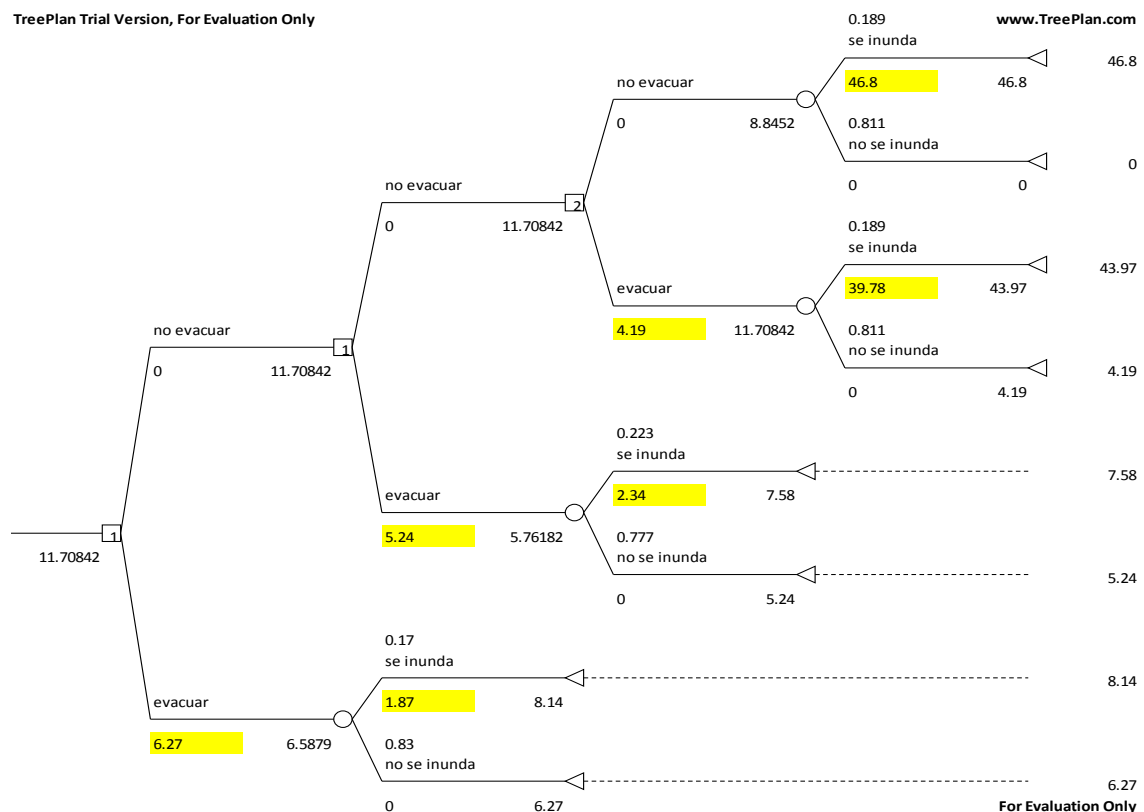


Figura 5-4. Árbol de decisión tres días. Elaboración propia (2017)

Paso 5: De acuerdo a esta nueva situación, el árbol de decisiones indicó una *evacuación necesaria inmediata* en el día 3 o a partir del día 2, debido a que los costos de evacuación (6.58 millones) son menores a los costos por daños posibles (11.70 millones). Esta decisión se ve reforzada por los datos observados en la curva de evacuación la cual indica que el tiempo mínimo necesario para evacuar a la mayor parte de la población de este lugar es de 24 horas.

5.2 Modelo Definitivo

A partir de la aplicación del modelo preliminar surgió la necesidad de agregar un paso previo al paso 1 y uno más previo al paso 4, denominado **día de observación 2**. En el paso denominado **día de observación 1** los comités decisorios deben definir los intervalos de precisión $(\Delta h)_{pred}$ para el cálculo de la probabilidad y los *datos básicos* del escenario. En el paso día de observación 2, los comités de decisión deben definir si mantienen el mismo intervalo de precisión $(\Delta h)_{pred}$ para el cálculo de la probabilidad. Es decir lo pueden aumentar o lo pueden disminuir de acuerdo a la evolución del tirante entre los dos días de observación.

De forma esquemática el Modelo Definitivo quedaría de la siguiente forma (ver figura 5-6)

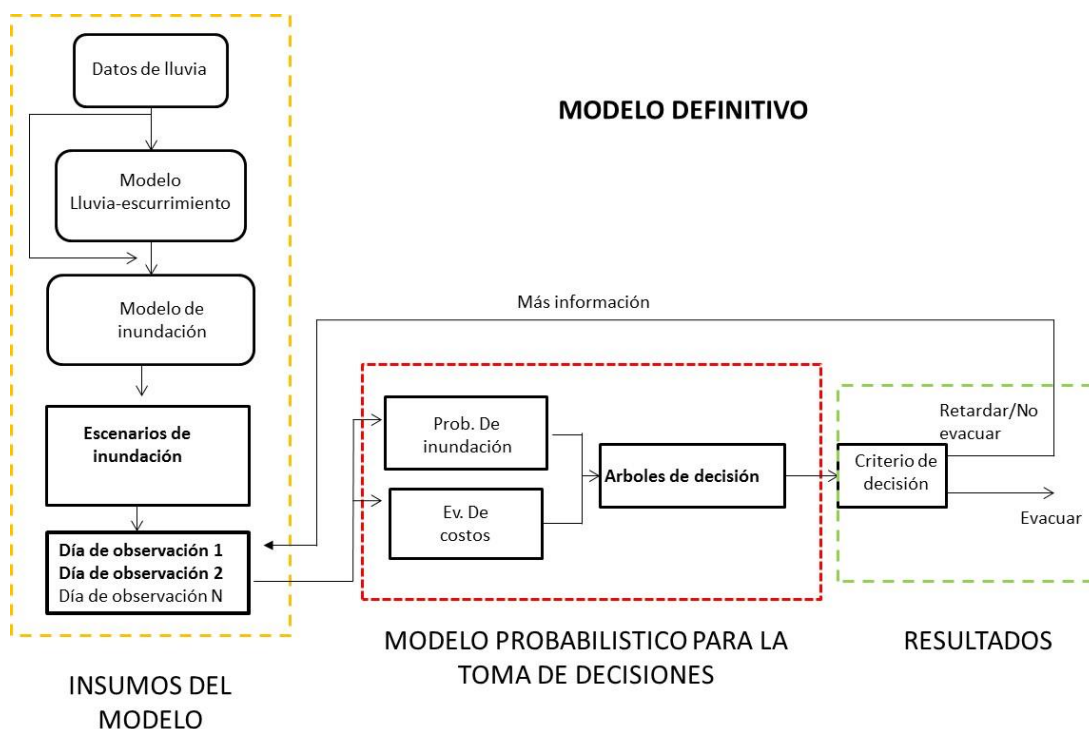


Figura 5-6. Modelo definitivo. Elaboración propia (2017)

5.2 Validación del modelo

Los modelos físicos suelen representar un sistema multivariable tanto de entradas como de salidas (se trata de sistemas con multientradas y multisalidas), aunque el sistema sea físicamente sencillo, es imprescindible llevar a cabo un primer estudio (análisis de sensibilidad) para saber qué variables de entrada influyen sobre el comportamiento de las salidas, con el fin de simplificar el problema, ya que de este modo se podrán reducir los posteriores estudios a aquellas entradas que hacen sensible a la salida seleccionada. Dicho análisis viene a ser un primer estudio que guiará la validación del experimento y el diseño del mismo (Monroy, 2010).

Los procedimientos de análisis de sensibilidad deben poseer dos componentes básicos.

- Una estrategia en la variación de los parámetros del modelo, entradas o estados.
- La definición de una medida para estimar cómo las respuestas del modelo cambian dependiendo de la variación de uno o más parámetros, entradas o estados.

La razón para realizar un análisis de sensibilidad es generalmente una de las siguientes (Wagener *et al.*, 2002; Letcher *et al.*, 2007):

Probar cuales parámetros dominan una certeza en la respuesta con el fin de eliminar la insensibilidad de los parámetros y de esta manera reducir la carga en la calibración.

Como parte de un análisis de incertidumbre a priori para probar si están bien definidos los parámetros o si es necesario realizar un esfuerzo adicional para reducir la incertidumbre.

En los últimos años han surgido en la literatura diferentes variaciones de análisis temporales, para probar si los parámetros son sensibles en periodos donde los procesos que ellos representan son asumidos como dominantes. Un análisis de sensibilidad puede ser utilizado como una herramienta para la evaluación de la estructura del modelo. En ese sentido, se propuso un análisis de sensibilidad del modelo variando los montos asegurados y las probabilidades de inundación y así valorar las respuestas ante los cambios descritos.

Para el análisis de sensibilidad propuesto se generaron 24 escenarios de inundación para dos montos asegurados por fallecimiento. Doce de ellos consideraron una suma asegurada por fallecimiento de \$ 374,000.00 por personas y los otros doce una suma

asegurada de \$ 200,000.00 por persona fallecida (Sección 2.5.2). Las probabilidades generadas relacionaron cuatro, tres y dos días de espera, considerando intervalos de precisión $(\Delta h)_{pred}$ antes del umbral de desbordamiento de 40, 20 15 y 10 centímetros respectivamente. Para determinar los montos de actuar o no actuar, se construyeron 24 árboles de decisión mediante Treeplan (Ver Anexo C). En la tabla 5-5 se muestran los costos de **actuar** (evacuar) y **no actuar** (no evacuar) obtenidos de los respectivos árboles de decisión para diferentes días de espera, diferentes intervalos antes del umbral de desbordamiento y diferentes montos asegurados por fallecimiento. Es importante destacar que los costos Totales por Evacuación (\$CTE) son los mismos que se emplearon en la implementación del modelo descrita en la sección 5.1

Tabla 5-5. Costos (en millones de pesos) de actuar y no actuar.

Días de predicción	Monto asegurado \$ 374,000.00			\$ 200,000.00	
	$(\Delta h)_{pred}$ en cm.	Evacuar	No evacuar	Evacuar	No evacuar
4	40	7.35	6.34	7.33	6.3
4	20	7.4	10.95	7.41	7.8
4	15	7.55	13.61	7.44	9.23
4	10	7.62	16.8	7.47	10.93
3	40	5.37	6.34	6.3	5.31
3	20	6.62	10.95	6.45	7.8
3	15	6.74	13.61	6.52	9.23
3	10	6.88	16.8	6.6	10.93
2	40	5.37	5.3	5.31	4.78
2	20	5.75	10.95	5.5	7.8
2	15	5.89	13.61	5.58	9.23
2	10	6.05	16.8	5.66	10.93

Fuente: Elaboración propia (2017)

A continuación en las figuras 5-6 y 5-7 se grafican los costos de **actuar** (evacuar) y **no actuar** (no evacuar) a partir de los datos de la tabla 5.5, para los cantidades aseguradas por fallecimiento propuestas. El gráfico en color rojo muestra los costos de no evacuar (no actuar), mientras que el gráfico en color azul muestra los costos de evacuar (actuar).

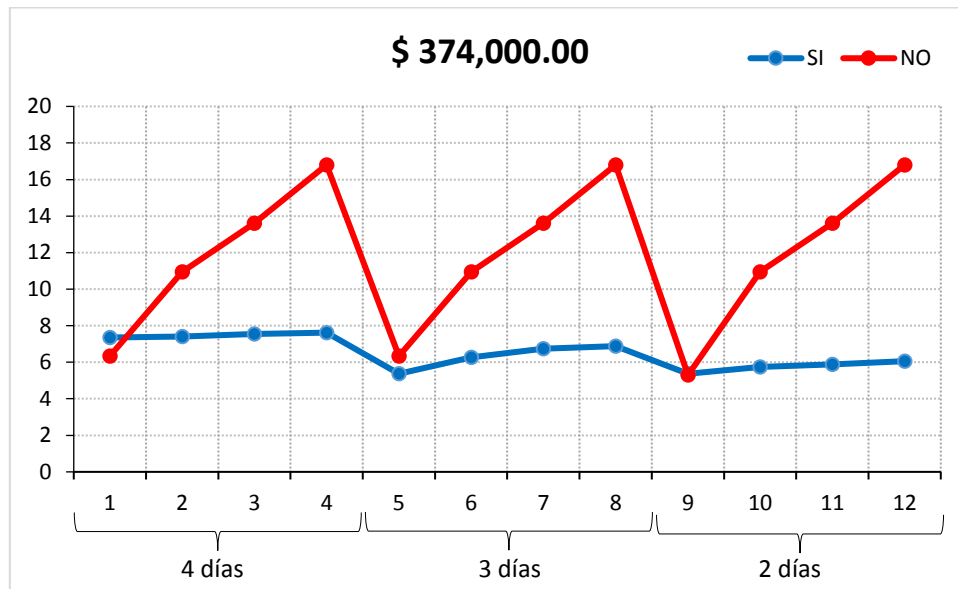


Figura 5-7. Costos de actuar y no actuar (\$ 374,000.00). Elaboración propia (2017)

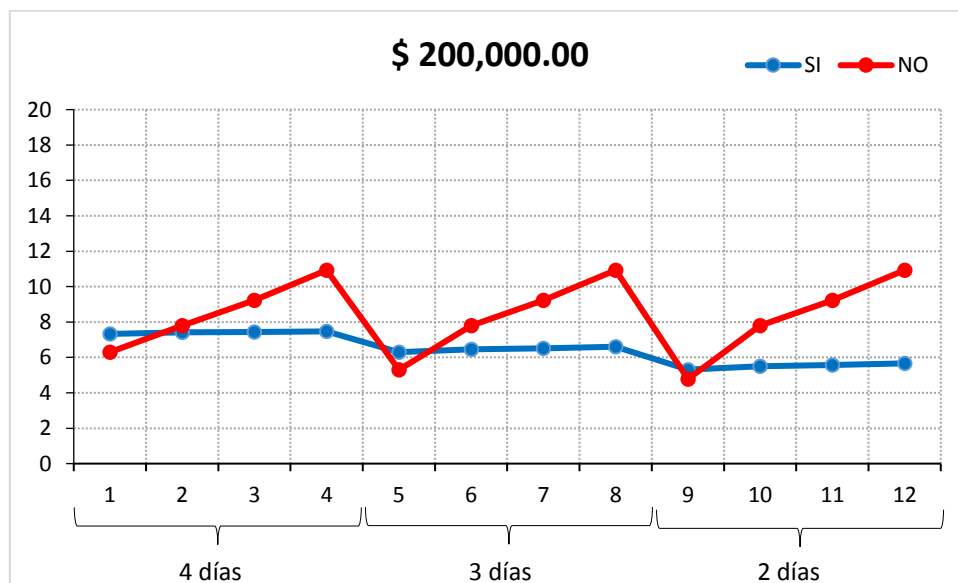


Figura 5-8. Costos de actuar y no actuar (\$ 200,000.00). Elaboración propia (2017)

A partir de los gráficos mostrados en las figuras 5-7 y 5-8, se concluye lo siguiente:

UNO: que los costos de **no actuar** se incrementan conforme disminuye el intervalo antes del desbordamiento.

DOS: que los costos de **no actuar** tienden a incrementarse a partir de 4, 3 y 2 días antes del suceso para las dos sumas aseguradas.

TRES: Los costos por **actuar** presentan una ligera tendencia a la baja al disminuir los días de espera en ambas situaciones.

CUATRO: para una suma asegurada de \$ 374,000.00, para un intervalo de 40 cm antes del umbral de desbordamiento, ES INDIFERENTE **actuar** o **no actuar**, 4, 3 y 2 días antes del suceso. Es decir, los costos pueden considerarse similares.

CINCO: para una suma asegurada de \$ 200,000.00, entre los días 4 y 3 antes del suceso, los intervalos 40 cm y 20 cm. Presentan esta INDIFERENCIA entre **actuar** o **no actuar**. Es decir, el modelo puede presentar mayor cantidad de puntos de indiferencia en la medida que los montos asegurados disminuyan.

6. DISCUSION DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Discusión de resultados

Cuando se analizan eventos extremos, el comportamiento de los tirantes por arriba del umbral de desbordamiento tiene una distribución Normal (Freiser, 2004), (Kelmansky, 2009); no así las series de mediciones que incluyen todo el espectro de posibilidades tanto en épocas de estiaje como en épocas de lluvias. Para determinar las variables estadísticas representativas de este tipo de sistemas que conllevan a determinar diversos periodos de diseño, es necesario inspeccionar dichas series para encontrar aquella función de ajuste que mejor resultados pueda aportar; dicho de otra forma, aquella que presente menores errores de variación. Las distribuciones que mayormente se aplican son: Normal, Log Normal, Gumbel, Gamma, Exponencial, Pearson y Log Pearson.

Para el caso de la serie semilla aplicada en esta investigación consta de 29 datos de tirantes cercanos al umbral de desbordamiento que van desde 4.78 m. hasta 7.81m. Ver figura (6-1)

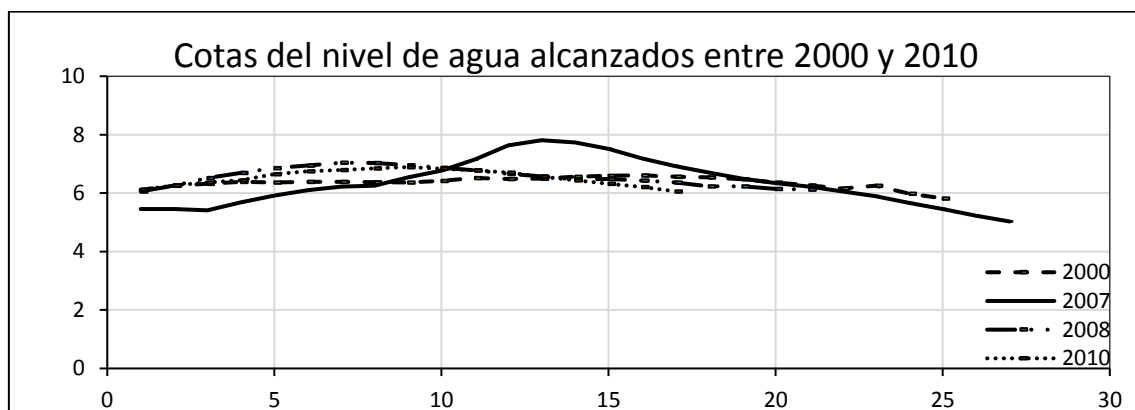


Figura (6-1). Gráfica del evento extraordinario de 2007 y otros eventos. Elaboración propia (2017)

Realizando un análisis comparativo de los ajustes logrados para la serie se encuentra que la distribución Log Pearson representa el error más pequeño (0.61) (Ver tabla 6-1). Sin embargo por las razones ya indicadas en el primer párrafo, en esta investigación se empleó la distribución Normal.

Tabla 6-1. Análisis comparativo de los ajustes de la serie empleada en la simulación estadística Montecarlo mediante diversas funciones de probabilidad.

<i>Periodo Retorno</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Normal</i>	<i>L-Normal</i>	<i>Exponencial</i>	<i>Gumbel 2p</i>	<i>Gamma 2p</i>	<i>Pearson 3p</i>	<i>L-Pearson 3p</i>
<i>Años</i>		<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
2	0.5	6.37	6.32	4.42	6.24	34.13	6.37	6.35
5	0.8	7.08	7.07	10.26	6.97	34.84	7.07	7.08
10	0.9	7.44	7.49	14.67	7.46	35.22	7.45	7.47
25	0.96	7.84	7.98	20.51	8.08	35.62	7.85	7.89
50	0.98	8.09	8.30	24.93	8.54	35.88	8.11	8.16
100	0.99	8.32	8.61	29.35	9.00	36.12	8.35	8.41
500	0.998	8.78	9.27	39.60	10.05	36.60	8.83	8.92
1000	0.999	8.96	9.53	44.02	10.50	36.79	9.02	9.12
	Error	7.74	7.79	29.97	0.97	138.83	0.62	0.61

Fuente: Elaboración propia (2017)

Por otra parte, se usó la función Normal en la simulación estadística Montecarlo debido a que la distribución de los errores tiende a ser simétrica, pues tiene como valor de equilibrio el *umbral de desbordamiento* que para el caso de aplicación es de 7.50 m.

En lo particular y derivada del caso de aplicación, los resultados de esta investigación aportan otra perspectiva valiosa sobre las inundaciones en Tabasco en el año 2007 para afrontar situaciones futuras. El abordaje de la toma de decisiones en casos de evacuación por inundación dada la probabilidad de desbordamiento de un río de planicie mediante simulación estadística Montecarlo y la evaluación directa de los principales costos tangibles de un evento de evacuación de gran escala en un contexto particular, se suma a la lista de investigaciones relacionadas al caso (Perevotchikova Lezama, 2010; Rivera *et al.*, 2009, Rivera-Trejo *et al.*, 2010; María y Torre, 2010; Gaytán, 2012; Arreguín *et al.*, 2014; Balladares *et al.*, 2016, entre otros), todas ellas con características de idoneidad para investigaciones futuras en el ámbito de las acciones no estructurales para la gestión integral del riesgo en esta zona productiva de la República Mexicana.

En términos de los resultados obtenidos del caso de aplicación, se plantea lo siguiente: Paralelamente a la construcción de los árboles de decisión en el día 4, se requiere monitorear la evolución de los tirantes *in situ* (entre los días 4 y 3), pues de esto depende decidir el nuevo valor de $(\Delta h)_{\text{pred}}$ y el curso de acción a partir del día 3. En el caso de aplicación se observó una evolución del tirante entre los días 30 y 31 desde 6.77 m hasta 7.15 m. Este dato condicionó realizar un nuevo cálculo de la probabilidad para tres días con un intervalo de precisión $(\Delta h)_{\text{pred}} = 20$ cm. De haberse registrado el día 31 una baja del tirante o un valor igual al registrado el día 30, se hubiera optado por mantener el pronóstico de 4 días con el mismo nivel de precisión $((\Delta h)_{\text{pred}} = 40$ cm).

De los resultados obtenidos para un monto asegurado de \$374,000.00 por fallecimiento, si se comparan los costos de actuar y no actuar entre los días 4 y 3, desalojar en el día 3 representa un ahorro de 0.77 millones por no hacerlo en el día 4, sin embargo, no realizar la evacuación representa una pérdida adicional de 5.36 millones.

De acuerdo al planteamiento mostrado, en el día 3, se requiere un seguimiento o monitoreo riguroso de los tirantes máximos, dado que en este punto pueden suceder cualquiera de los siguientes casos: que el nivel del agua se mantenga constante, que éste nivel vaya a la baja o que se incremente. Estos registros pueden conducir a las siguientes acciones: seguir aplazando la evacuación, disminuir el intervalo de precisión en el cálculo de las probabilidades si se requiere calcular nuevamente o, evacuar de forma inmediata.

6.2 Conclusiones

De los objetivos

En relación a los objetivos específicos y general, éstos se cumplieron en su totalidad. Se detectó la oportunidad de desarrollo del modelo mediante la aplicación de un instrumento y del análisis del estado del arte; finalmente se propuso y se desarrolló un modelo probabilístico basado en decisiones secuenciales cuya herramienta son los árboles de decisión. Se planteó la metodología para alimentar los árboles de acuerdo al contexto de aplicación: una metodología para el cálculo de los costos tangibles y la metodología para obtener la probabilidad de desbordamiento de un río de planicie mediante simulación estadística Montecarlo usando el software estadístico R _{project}. Se validó el modelo mediante un *análisis de sensibilidad* desarrollando para ello 24

escenarios de inundación, comprobándose la operatividad de éste bajo cualquier condición demandante de resultados para la toma de decisiones.

Consideraciones finales

En primer lugar, en cuanto al desarrollo del modelo propuesto en los objetivos, en este punto es necesario apuntar que, como cualquier modelo de apoyo a las decisiones, éstos permiten a los comités decisorios contar con un panorama con base en la optimización de recursos económicos que el modelo aporta para ayudar a decidir, sin embargo, debe considerarse que ante estas situaciones y dada la complejidad de las variables involucradas, muchas decisiones pasan, al final, al orden de las decisiones políticas y en este sentido estricto, las consecuencias se asumen desde éste último enfoque.

La generación de los insumos básicos como son la probabilidad y los costos, necesarios para operar los árboles de decisión, puede obtenerse por otros métodos y al final aportar información valiosa si estos insumos están apegados a la realidad.

Finalmente, la operación del modelo requiere un sentido práctico de quienes lo pongan en operación para generar los insumos necesarios y en el momento idóneo para que éste aporte valores que realmente ayuden o contribuyan a mejorar las decisiones. Ello implica actualizar algunos costos variables en el tiempo, por ejemplo: salarios, precios de combustibles, costos de manutención diaria, costos horarios de los vehículos, entre otros que pudieran requerir este ajuste de acuerdo a la temporalidad del uso del modelo.

6.3 Recomendaciones

En cuanto al trabajo de campo implementado se usó una muestra de conveniencia por tratarse de una investigación exploratoria y se generaron sesgos de información los cuales fueron evidenciadas en la prueba Alfa de Cronbach igual a 0.62. En ese sentido se recomienda considerar igualmente en el diseño a la población usuaria de los servicios de apoyo que las dependencias prestan en casos de emergencia para balacear las respuestas y no se evalúe solamente el punto de vista de los mandos medios sino de todos los usuarios.

El cálculo de la probabilidad de desbordamiento por simulación Montecarlo aplicada en esta investigación, está referenciada a un solo evento (inundaciones en Villahermosa Tabasco, México en 2007). Se recomienda, para aplicaciones futuras, considerar para el

evento semilla de la simulación Montecarlo, un evento representativo de varios eventos históricos extremos.

Igualmente, ante una situación de riesgo, la operación del modelo requiere el seguimiento puntual durante la emergencia de la evolución de los tirantes que aplique al punto o puntos del posible desbordamiento ya que de esto depende la selección de los umbrales antes del suceso y así calcular sus probabilidades de ocurrencia.

Para obtenerlos costos Totales por Daños (\$CTD) empleados en esta tesis, tienen como base una *curva de respuesta de población* a los procesos de evacuación. Para operaciones futuras o en otras latitudes, es necesario contar previamente con dichas curvas ya que éstas dependen de muchos factores entre los que destacan: tamaño de la población, tipo de desbordamiento, tipo de terreno, medios para evacuar, cultura de resiliencia de la población, etc. Los organismos de ayuda pueden aportar mucho en la construcción de este tipo de curvas.

Cuando se requieran datos necesarios para el modelo y por premura de la situación no sea posible obtenerlos, puede recurrirse a la metodología del *taller de expertos* u otros métodos como el método de *Jerarquía Analítica* mejor conocido como AHP (Analysis Hierarchy Process) para generar información basada en criterios meramente empíricos pero que pueden aportar al proceso de toma de decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, A. (2005). Sobre la evaluación de riesgo de desastres naturales y vulnerabilidad de la comunidad utilizando sistemas de información geográficos. En Revista Internacional de desastres naturales, accidentes e infraestructura civil, 5(2), 101-2.
- Arreguín, C., I., F., Rubio-Gutiérrez Horacio, Domínguez-Mora, Ramón, y. L.-C., & d, F. (2014). Análisis de las inundaciones en la planicie tabasqueña en el periodo 1995.2010. Tecnología y ciencia del agua, 5 (3), 05-32.
- Arsham, H. (2015). Making Good Strategic Decisions. Applied Management Science.
- Balladares, S., Pico-González, B., Careta-Isordia, A. (2016). Un primer acercamiento al problema de decisión en emergencias mediante tablas de pago: caso práctico aplicado en Tabasco, México. Strategy, Technology and Society. Vol 2 (2016) 94-119
- Ballesteros, C. (2014). El enmarcado informativo del cannabis: un estudio cuantitativo exploratorio desde la teoría del framing. Anuario electrónico de estudios en comunicación social "Disertaciones", 7(1), 67-103.
- Baró-Suárez, J. E., Díaz-Delgado, C., Calderón-Aragón, G., Cadena-Vargas, E., y Esteller-Alberich, M. V. (3 de julio de 2011). Costo más probable de daños por inundación en zonas habitacionales de México. Tecnología y Ciencias del Agua, 201-218.
- Berlanga, S. V., Rubio, H. M., y Vilà, B. R. (2013). Cómo aplicar árboles de decisión en SPSS. Revista d'Innovació i Recerca en Educació, 6(1).
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, y Coll, A. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, 30(1), 1-10.
- Bojórquez, M. J., López, A. L., Hernández, F. M., y Jiménez, L. E. (2013). Utilización del alfa de Cronbach para validar la confiabilidad de un instrumento de medición de satisfacción del estudiante en el uso del software Minitab. Innovation in Engineering, Technology and education for competitiveness and prosperity, 1-9.
- Bustos Flores, C. E., y Chacón Parra, G. B. (2012). Modelos determinísticos de inventarios para demanda independiente: Un estudio en Venezuela. Contaduría y administración, 57(3), 239-258.

- Campos-Aranda, D. F. (2014). Estimación probabilística de crecientes estacionales con base en registros mensuales de gasto máximo. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(6), 177-187.
- Celina, O. H., & Campo, A. A. (2005). Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. *Revista colombiana de Psiquiatría*, 572-580.
- CENAPRED. (2015). Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. (<http://www.cenapred.unam.mx>), 139-145.
- CENAPRED, C. N. (2001). Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México, Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana. México. ISBN: 970-628-593-8.
- Centro, M. d. (10 de octubre de 2009). Atlas de Riesgo del Municipio del Centro. Villahermosa: SEDESOL. Recuperado el 10 de octubre de 2013, de www.villahermosa.gob.mx:
www.villahermosa.gob.mx/protec_civil/atlas_de_riesgo.pdf
- CEPC-Tabasco. (8 de febrero de 2014). Protección Civil Tabasco. Recuperado el 2 de febrero de 2014, de [Proteccion Civil Tabasco: http://proteccioncivil.tabasco.gob.mx/](http://proteccioncivil.tabasco.gob.mx/)
- Chamizo, J. A. (2009). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(1), 26-41.
- Charalambous, J., Rahman, A., y Carroll, D. (2013). Application of Monte Carlo simulation technique to design flood estimation: a case study for North Johnstone River in Queensland, Australia. *Water resources management*, 27(11), 4099-4111.
- Clement, R. (1995). An introduction to decision analysis. En *Hard decision* (págs. 24-27). E.U., E. U.: Second edition. E.U.: Duke University.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of test. *Psychometrika*, 16(3), 297-334.
- Daymon, C., y Holloway, I. (2002). *Qualitative research methods in public relations and marketing communications*. Routledge.
- Del Re, G. (2000). Models and Analogies in Science . *International Journal for Philosophy of Chemistry*, 6(1), 5-15.
- DELTARES. (2 de mayo de 2015). Deltares, enabling delta life. Obtenido de [Deltares.nl: https://www.deltares.nl/en/](https://www.deltares.nl/en/)

- Deltares. (2009). Towards sustainable development of deltas, estuaries and coastal zones. Trends and responses: executive summary: Holanda: Deltares. 39 pp
- Domingo, N. S., Refsgaard, A., Mark, O., y Paludan, B. (2010). Flood analysis in mixed-urban areas reflecting interactions with the complete water cycle through coupled hydrologic-hydraulic modelling. *Water Science and Technology*, 62(6), 1386-1392.
- Frías, N. D. (2013). Alfa de Cronbach y consistencia interna de los ítems de un instrumento de medida. *Faculta de psicología. Universidad de Valencia*, Recuperado el 25 de abril de 2017.
- Frieser, B. (2004). "Probabilistic Evacuation Decision Model for River Floods in the Netherlands". Delft Holanda: Delft University of Technology Faculty of Civil Engineering and Geosciences.
- Forbes-Mexico. (2015). Forbes. Recuperado el 06 de 06 de 2015, de www.forbes.com.mx
- Gallego, B. R. (2004). Un concepto epistemológico de modelo para la didáctica de las ciencias experimentales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3(3), 301-319.
- García, R. (2000). *El Conocimiento en Construcción*. México: Gedisa. 252 pp
- García, R. (2011). Interdisciplinariedad y sistemas Complejos. *Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales* vol 1 No. 1: 66-101.
- Garnica Peña, R. J., y Alcántara Ayala, I. (2004). Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz. *Investigaciones geográficas*, 55, 23-45.
- Gaudiani Adriana A.. 2015. Tesis doctoral. Simulación y Optimización como Metodología para Mejorar la Calidad de la Predicción en un entorno de Simulación Hidrográfica. Universidad Nacional de la Plata.
- Gaytán, I. P. (2012). "Un modelo Bi-criterio para la ubicación de albergues como parte de un plan de evcuación en caso de inundaciones". *Revista Ingeniería Industrial*, 35-56.
- Ghesquiere, F., y Mahul, O. (2010). Financial Protection of the State against Natural Disasters. The World Bank Latin American and the Caribbean Region Finance and Private Sector Development Sustainable Development Network.

- González, A. J., y Pazmiño, S. M. (2015). Cálculo e interpretación del Alfa de Cronbach para el caso de validación de la consistencia interna de un cuestionario, con dos posibles escalas tipo Likert. *Revista Publicando*, 2(1), 62-77.
- González-Ortega, Y. (2008). Instrumento cuidado de comportamiento profesional: validez y confiabilidad. *Aquichan*, 8(2), 170-182.
- Haq, M., Akhtar, M., Muhammad, S., Paras, S., y Rahmatullah, J. (2012). Techniques of Remote Sensing and GIS for flood monitoring and damage assessment: A case study of Sindh province, Pakistan. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 15(2), 135-141.
- Hernández, S. R., Fernández, C. C., y Baptista, P. L. (2010). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Huh, Jisu, Denisse E., Delorme, Reid, Leonard N. (2006). Perceived Third Person effects and consumer attitudes on prevetting and Banning DTC advertising. *Journal of Consumer Affair*. Wiley Online Library. DOI:101111/j.1745-6606.2006.00047.x
- Huthoff, F., y Stijnen, J. W. (2005). Efficiency of emergency retention areas along the river Rhine: Monte Carlo simulations of a 1D flow model. *ISSH - Stochastic Hydraulics 2005 - 23 and 24 May 2005 - Nijmegen - The Netherlands*, 2005(23).
- Iberaula. <http://www.iberaula.es/web/index.php>. Recuperado el 5 de mayo de 2016.
- Jing-Hong, W., y Jin-Hua, S. (2014). Principals aspects regarding to the emergency evacuation of large-scale crowds: a brief review of literartures until 2010. *Procedia Engineering*, 1-6.
- Jongejan R.B., Jonkman S.N., Vrijling J.K. (2005) Methods for the economic valuation of loss of life; in: Boyer M., N. de Marcellis, B. Sinclair-Desgagne (eds.) *Proc. of conference on "the international law and management of large scale risk 2005*, Montreal Canada.
- Jonkman (2007). *Loss of life in flood risk assessment, theory and applications*. Doctoral Thesis. Delf Cluster. ISBN 9787-90-9021950-9
- Jonkman, S. N., Vrijling, J. K., y Vrouwenvelder, A. C. (2008). Methods for the estimation of loss of life due to floods: a literature review and a proposal for a new method. *Natural Hazards*, 46(3), 353-389.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las ciencias*, 24(2), 173-184.
- Kailiponi, P. (2010). Analyzing evacuation decisions using multi-attribute utility theory. *Procedia engineering*, 163-174.

- Kalyanapu, A. J., Judi, D. R., McPherson, T. N., y Burian, S. J. (2012). Monte Carlo-based flood modelling framework for estimating probability weighted flood risk. *Journal of Flood Risk Management*, 5(1), 37-48.
- Kelmanski, Diana M. Estadística para todos. Ministerio de educación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica. República de Argentina (2009). ISBN 978-950-00-0713-9
- Korstanje, M. (2010). Reconsiderando el concepto de Riesgo en Luhmann. *Revista Mad*, 0(22), 31-41.
- Kundzewicz, Z. W., y D. Gerten. 2015. Grand challenges related to assessment of climate change impacts on freshwater resources. *Journal of Hydrologic Engineering* 20 (1): 1-10.
- Kundzewicz, Z. W., Shinjiro K., Seneviratne S. I., Handmer J., Neville N., Peduzzi P., Mechler R., Bouwer L. M., Arnell N., Mach K., Muir -Wood R., Brakenridge R., ron W., Benito G., Honda Y., Takahashi K., Sherstyukov B. (2013) Food risk and climate change: global and regional perspective. *Hydrological Sciences Jornal*. Taylor and Francis.
- Letcher, R., Croke, B., y Jakeman, A. (2007). Integrated assessment modelling for water resource allocation and management: A generalised cencetual framework. *Environmental Modeling y Software*, 22, 733-742.
- Ley, B. R. (2001). Análisis de incertidumbre y riesgo para la toma de decisiones. México: Comunidad Morelos UAM.
- Llanes, C. S. (2012). El abordaje del estudio del riesgo natural desde la disciplina geográfica. *Comunicaciones. Breves Contribuciones del I.E.G*, 113-128. Llorente, M., Díez-Herrero, A., y Laín, L. H. (2009). Aplicaciones de los SIG al análisis y gestión del riesgo de inundaciones: avances recientes. España: Cuadernos de la sociedad española de ciencias forestales.
- María, P., y Torre, J. L. (2010). Causas de un desastre: Inundaciones del 2007 en Tabasco, México. *Journal of Latin American Geography*, 9 (2) Conference of Latin Americanist Geographers, 73_98.
- Meza-Padilla R., C.M. Appendini, A. Pedrozo-Acuña y F. González -Villarreal. Evaluación de la marea de tormenta en sitios con escasez de datos: Río Pánuco, México. *RIBAGUA. Revista Iberoamericana del agua* 2(2015) 61-70

- Möllumann, A. F., y Vermeer, P. A. (2007). Reliability analysis of a dike failure. In Proceedings of the 18th European Young Geotechnical Engineers' Conference.
- Monroy, J. C. (2010). Análisis del ajuste, sensibilidad e incertidumbre de los parámetros del modelo del SCS. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería, Departamenoe de Ingeniería Civil.
- Montesinos-López, O. A., y Hernández-Suárez, C. M. (2007). Modelos matemáticos para enfermedades infecciosas. Salud Pública de México, 49(3), 218-226.
- Montoya, J. V., Castillo, M. M., y Sánchez, L. (2011). The importance of periodic floods for the functioning and conservation of large tropical floodplain rivers: studies from the orinoco BASIN. Interciencia, 36(12), 900-907.
- Morss, R. E. (2009). Interactions among flood predictions, decisions, and outcomes: synthesis of three cases. Natural Hazards Review, 11(3), 83-96.
- Musseta, P. (2009). Participación y gobernanza. El modelo de gobierno del agua en México. Espacios públicos, 66-84.
- Natale, L., y Savi, F. (2007). Monte Carlo analysis of probability of inundation of Rome. Environmental Modelling & Software, 22(10), 1409-1416.
- Naulin, M. K., y Oumeraci, H. (2011). Failure probability of flood defence structures/systems in risk analysis for extreme storm surges. Coastal Engineering Proceedings, 1(32), 13.
- OMM. (1994). Guía de Prácticas hidrológicas. Consultado el 25 de abr. 2009. http://www.bom.gov.au/hydro/wr/wmo/guide_to_hydrological, Quinta edición (168). CAPÍTULO 41:581-617.
- OMM, O. M. (2006). Aspectos ambientales de la gestión integrada de crecidas. APFM Documento Técnico N°3. Serie políticas de gestión de crecidas.
- ONU. (2007). Building Disaster Resilient Communities. Good Practices and Lessons Learned, 1-67.
- Osorio, J. C., y Orejuela, J. P. (2008). El proceso de análisis jerárquico (ahp) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. Scientia et Technica, 247-252.
- Patro, S., Chatterjee, C., Mohanty, S., Singh, R., y Raghuwanshi, N. S. (2009). Flood inundation modeling using MIKE FLOOD and remote sensing data. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 37(1), 107-118.
- Perevochtchikova, M., y Lezama, J. L. (2010). Causas de un desastre: Inundaciones del 2007 en Tabasco, México. Journal of Latin American Geography, 73-98.

- Pérez, F. R., Vargas, B. L., Aguirre, O. A., Corral, J. J., y Rojas, A. A. (2003). Proceso analítico jerárquico para seleccionar métodos de manejo forestal en Durango. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 55-72.
- Poussin, J. K., Botzen, W. W., y Aerts, J. C. (2014). Factors of influence on flood damage mitigation behaviour by households. *Environmental Science & Policy*, 40, 69-77.
- Quero, M. V. (2010). Confiabilidad y coeficiente Alpha de Cronbach. *Telos*, 12(2), 248-252.
- Quijada-Alarcón, J., Gonzáles, N., Soler, F., y Camarero, A. (2012). Uso del algoritmo árboles de decisión en la planificación logística territorial. *Pensamiento matemático*, 3(2), 51-58.
- Raviolo, A., Aguilar, A., Ramírez, P., y López, E. (2011). Dos analogías en la enseñanza del concepto de modelo científico: Análisis de las observaciones de clase. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*, 6(1), 61-70.
- Rivera, T. F., Soto-Cortés, G., Barajas, F. J. (2009). La inundación de 2007 en Tabasco, México: evolución de niveles de agua. *Ingeniería hidráulica en México*, vol. XXIV, núm. 4, pp. 145-152, octubre-diciembre de 2009.
- Rivera-Trejo, F, Soto-Cortés, G., Méndez-Antonio, B (2010). The 2007 flood in Tabasco, Mexico. An integral analysis of a devastating phenomenon. *Intl. J. River Basin Management*. Vol 0 (2010), pp 1-13
- Roselló, M. J. (2004). Evolución histórica de los estudios sobre riesgos. Propuestas temáticas y metodológicas para la mejora del análisis y gestión del riesgo desde una perspectiva geográfica. *Baética: Estudios de arte, geografía e historia*, 26, 103-128.
- São Pedro, F. (2009). Juegos cognitivos en el proceso decisorio. *Revista científica Internacional*, 1-28.
- SEGUROS, A. M. (17 de Mayo de 2014). AMIS. Recuperado el 17 de Mayo de 2014, de AMIS: <http://www.amis.org.mx/amis/index.html>
- SENADO. Comisión de Asuntos Hidráulicos. (2008). Informe de las Inundaciones de 2007 en el estado de Tabasco. Informe preliminar. México: Cámara de Senadores.
- SINAPROC. (2015). Sistema Nacional de Protección Civil. Disponible en: http://www.proteccioncivil.gob.mx/es/ProteccionCivil/Conce_el_SINAPROC
- Slovic, P. (2002). "Percepción del riesgo generado por eventos extremos". *Estrategias de Manejo de Riesgo en un Mundo Incierto*, 1-15.

- SMN. (2008). Lámina de lluvia normal mensual. Obtenido de Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/productos/normales/precme.html>
- Suarez, P., y Linnerooth-Bayer, J. (2011). Insurance-related instruments for disaster risk reduction. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction.
- Tabasco. (26 de Junio de 2014). SPF.Tabasco. Recuperado el 16 de Mayo de 2014, de SPF.Tabasco: <http://spf.tabasco.gob.mx/content/plan-estatal-desarrollo-2013-2018>
- Tanako, T. (2012). BM pide abrir presupuestos a desastres. Recuperado el 6 de abril de 2014, de CN expansión: <http://www.cnnexpansion.com/economia/2012/06/16/bm-pide-abrir-presupuestos-a-desastres>
- Treeplan. (2017). TreePlan = The Decision Tree Add-in. Disponible en:<http://treeplan.com>
- TU Delft. (2004). Probabilistic Evacuation Decision model for River Floods in the Netherlands. Delft university of technology Faculty of Civil Engineering and Geosciences.
- Van Looveren, R. G., Blanckaert, J., Verelst, K., y Peeters, P. (2016). Estimating probability of dike failure by means of a Monte Carlo approach. Sustainable Hydraulics in the Era of Global Change, 896-903.
- Varela, J., Rodrigues, J. M., y Guedes, C. S. (2014). On-board Decision Support System for Ship Flooding. Emergency response. Procedia Computer Science, 1688-1700.
- Vrijling, J. K., Vrouwenvelder, A. C., Jonkman, I. S., y de Bruijn, I. K. (2003). Probabilistic risk assessment of a system of dike ring areas.
- Wagener, T., Lees, M.J., Wheater, H.S. (2002). A toolkit for the development and application of parsimonious hydrological model. Mathematical model of large watershed hydrology, Vol. 2, 87-136.
- Weber, E. (2001). Personality and risk taking. International Encyclopedia of the social and behavioral sciences, 11274-11276.
- Werner M., J. Schellekens, P. Gijsbers, M. van Dijk, O. van den Akker, K. Heynert. 2013. The Delft-FEWS flow forecasting system. Environmental Modelling & Software 40 (2013) 65-77.
- Yamin, L. E., Ghesquiere, F., Cardona, O. D., y Ordaz, M. G. (2013). Modelación probabilística para la gestión del riesgo de desastre. El caso de Bogotá, Colombia. Bogotá: BID.

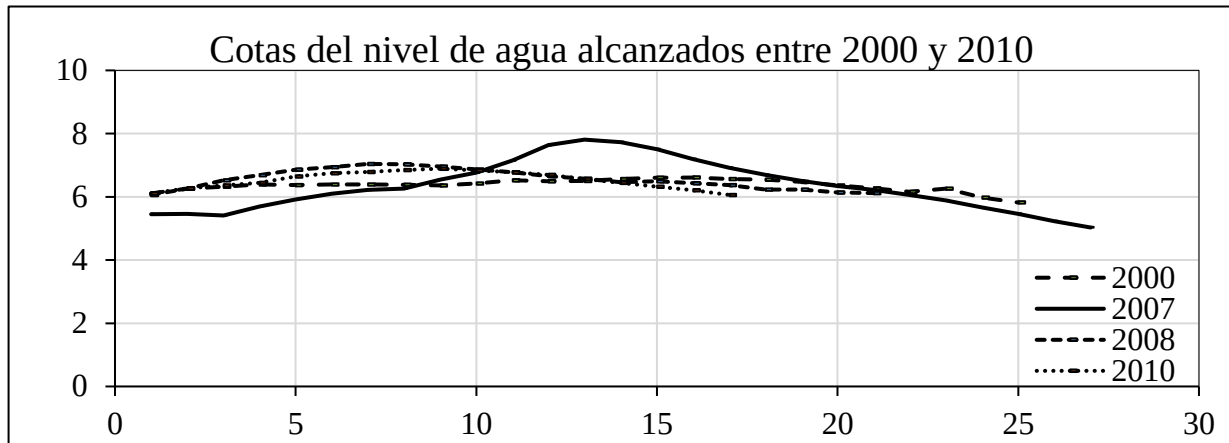
- Yang, B., Ren, B., y Wu, Y.-g. (2012). The research of multi-resolution modeling and simulation of the emergency evacuation. *Procedia engineering* 29, 3110-3116.
- Ynestroza, M. Á., y Rojas, I. C. (2009). Metodologías para cuantificar el riesgo de inundación en planicies inundables. *Revista de Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 30(3), 11-20.

ANEXO A: Datos de tirantes de la estación Gaviotas II durante el evento de inundación de 2007 y otros eventos de referencia.

1. Tirantes y gastos registrados en la estación Gaviotas II durante el evento 2007

Fecha	Tirante en m	Gasto en m³/seg
20/10/2007	5.34	833
21/10/2007	5.45	844
22/10/2007	5.46	847
23/10/2007	5.41	842
24/10/2007	5.69	915
25/10/2007	5.92	947
26/10/2007	6.1	993
27/10/2007	6.22	1006
28/10/2007	6.26	1008
29/10/2007	6.54	1400
30/10/2007	6.77	1585
31/10/2007	7.15	1618
01/11/2007	7.64	1755
02/11/2007	7.81	1772
03/11/2007	7.73	1486
04/11/2007	7.51	1406
05/11/2007	7.19	1340
06/11/2007	6.92	1243
07/11/2007	6.7	1018
08/11/2007	6.5	987
09/11/2007	6.34	950
10/11/2007	6.22	910
11/11/2007	6.06	894
12/11/2007	5.89	860
13/11/2007	5.66	811
14/11/2007	5.46	768
15/11/2007	5.23	726
16/11/2007	5.03	690
17/11/2007	4.78	665
18/11/2007	4.46	588

2. Otros tirantes de otros eventos de inundación registrados en la Estación Gaviotas II en comparación con el evento de 2007.



TESIS: Desarrollo de un modelo probabilístico para la toma de decisiones en casos de evacuación de población en riesgo por inundación: estudio empírico aplicado en Tabasco, México.

ANEXO B: Probabilidades de desbordamiento para diversos horizontes de planificación y diferentes grados de precisión (Δh)_{pred}, referidos al evento 2007.

1. Probabilidades para 5 días previos y diferentes valores de (Δh)_{pred} y (Δh)_{pred} fijo en 50, 40 y 20 cm.

Measurement		5 days prediction			4 days prediction			3 days prediction			2 days prediction			1 day prediction		
Date [dd-mm-yy]	Water level [m+NAP]	Date [dd-mm-yy]	Water level [m+NAP]	Δh [m]	Date [dd-mm-yy]	Water level [m+NAP]	Δh [m]	Date [dd-mm-yy]	Water level [m+NAP]	Δh [m]	Date [dd-mm-yy]	Water level [m+NAP]	Δh [m]	Date [dd-mm-yy]	Water level [m+NAP]	Δh [m]
20-10-07	5.34													19-10-07	5.64	-0.30
21-10-07	5.45										19-10-07	4.96	0.49	20-10-07	5.10	0.35
22-10-07	5.46							19-10-07	5.55	-0.09	20-10-07	4.76	0.70	21-10-07	5.67	-0.21
23-10-07	5.41				19-10-07	5.37	0.04	20-10-07	5.25	0.16	21-10-07	5.17	0.24	22-10-07	5.24	0.17
24-10-07	5.69	19-10-07	5.26	0.43	20-10-07	5.82	-0.13	21-10-07	5.70	-0.01	22-10-07	5.74	-0.05	23-10-07	6.11	-0.42
25-10-07	5.92	20-10-07	5.38	0.54	21-10-07	5.90	0.02	22-10-07	5.76	0.16	23-10-07	6.04	-0.12	24-10-07	6.36	-0.44
26-10-07	6.10	21-10-07	5.94	0.16	22-10-07	6.00	0.10	23-10-07	5.95	0.15	24-10-07	6.23	-0.13	25-10-07	5.83	0.27
27-10-07	6.22	22-10-07	6.26	-0.04	23-10-07	6.50	-0.28	24-10-07	6.25	-0.03	25-10-07	6.16	0.06	26-10-07	6.55	-0.33
28-10-07	6.26	23-10-07	6.36	-0.10	24-10-07	6.67	-0.41	25-10-07	6.40	-0.14	26-10-07	6.29	-0.03	27-10-07	6.42	-0.16
29-10-07	6.54	24-10-07	6.63	-0.09	25-10-07	6.69	-0.15	26-10-07	6.73	-0.19	27-10-07	6.91	-0.37	28-10-07	6.78	-0.24
30-10-07	6.77	25-10-07	6.74	0.03	26-10-07	6.97	-0.20	27-10-07	6.90	-0.13	28-10-07	6.64	0.13	29-10-07	6.76	0.01
31-10-07	7.15	26-10-07	7.16	-0.01	27-10-07	7.17	-0.02	28-10-07	7.17	-0.02	29-10-07	7.19	-0.04	30-10-07	7.18	-0.03
01-11-07	7.64	27-10-07	7.69	-0.05	28-10-07	7.62	0.02	29-10-07	7.68	-0.04	30-10-07	7.66	-0.02	31-10-07	7.65	-0.01
02-11-07	7.81	28-10-07	7.76	0.05	29-10-07	7.73	0.08	30-10-07	7.93	-0.12	31-10-07	7.85	-0.04	01-11-07	7.87	-0.06
03-11-07	7.73	29-10-07	7.76	-0.03	30-10-07	7.74	-0.01	31-10-07	7.77	-0.04	01-11-07	7.78	-0.05	02-11-07	7.77	-0.04
04-11-07	7.51	30-10-07	7.51	0.00	31-10-07	7.51	0.00	01-11-07	7.51	0.00	02-11-07	7.51	0.00	03-11-07	7.51	0.00
05-11-07	7.19	31-10-07	7.23	-0.04	01-11-07	7.21	-0.02	02-11-07	7.22	-0.03	03-11-07	7.17	0.02	04-11-07	7.15	0.04
06-11-07	6.92	01-11-07	7.05	-0.13	02-11-07	6.96	-0.04	03-11-07	6.91	0.01	04-11-07	7.02	-0.10	05-11-07	7.03	-0.11
07-11-07	6.70	02-11-07	6.82	-0.12	03-11-07	6.65	0.05	04-11-07	6.64	0.06	05-11-07	6.77	-0.07	06-11-07	6.81	-0.11
08-11-07	6.50	03-11-07	6.44	0.06	04-11-07	6.58	-0.08	05-11-07	6.68	-0.18	06-11-07	6.55	-0.05	07-11-07	6.25	0.25
09-11-07	6.34	04-11-07	6.54	-0.20	05-11-07	5.96	0.38	06-11-07	6.23	0.11	07-11-07	5.98	0.36	08-11-07	6.10	0.24
10-11-07	6.22	05-11-07	6.34	-0.12	06-11-07	6.23	-0.01	07-11-07	6.43	-0.21	08-11-07	6.68	-0.46	09-11-07	6.32	-0.10
11-11-07	6.06	06-11-07	6.14	-0.08	07-11-07	6.61	-0.55	08-11-07	6.21	-0.15	09-11-07	6.29	-0.23	10-11-07	6.16	-0.10
12-11-07	5.89	07-11-07	5.39	0.50	08-11-07	6.08	-0.19	09-11-07	5.60	0.29	10-11-07	5.73	0.16	11-11-07	5.75	0.14
13-11-07	5.66	08-11-07	6.32	-0.66	09-11-07	5.85	-0.19	10-11-07	5.38	0.28	11-11-07	5.14	0.52	12-11-07	5.77	-0.11
14-11-07	5.46	09-11-07	5.78	-0.32	10-11-07	6.13	-0.67	11-11-07	6.30	-0.84	12-11-07	5.49	-0.03			
15-11-07	5.23	10-11-07	5.00	0.23	11-11-07	5.84	-0.61	12-11-07	5.63	-0.40						
16-11-07	5.03	11-11-07	4.34	0.69	12-11-07	5.20	-0.17									
18-11-07	4.78	12-11-07	4.81	-0.03												
bias Δh (high water 2007) [m]				0.028			-0.121			-0.056			0.035			-0.052
r.m.s Δh (high water 2007) [m]				0.283			0.238			0.227			0.262			0.210

Prediction lead time(j) [days]	h_{cr} [cm + Nap]	$\mu (t_j)$ [cm]	$\sigma (t_j)$ [cm]	Δh_{pred} [cm]	$P_f [-]$
5	750	0	28.28	50	0.039
4	750	0	23.8	35	0.071
3	750	0	22.7	26	0.126
2	750	0	26.2	18	0.246
1	750	0	21.0	7	0.369

TESIS: Desarrollo de un modelo probabilístico para la toma de decisiones en casos de evacuación de población en riesgo por inundación: estudio empírico aplicado en Tabasco, México.

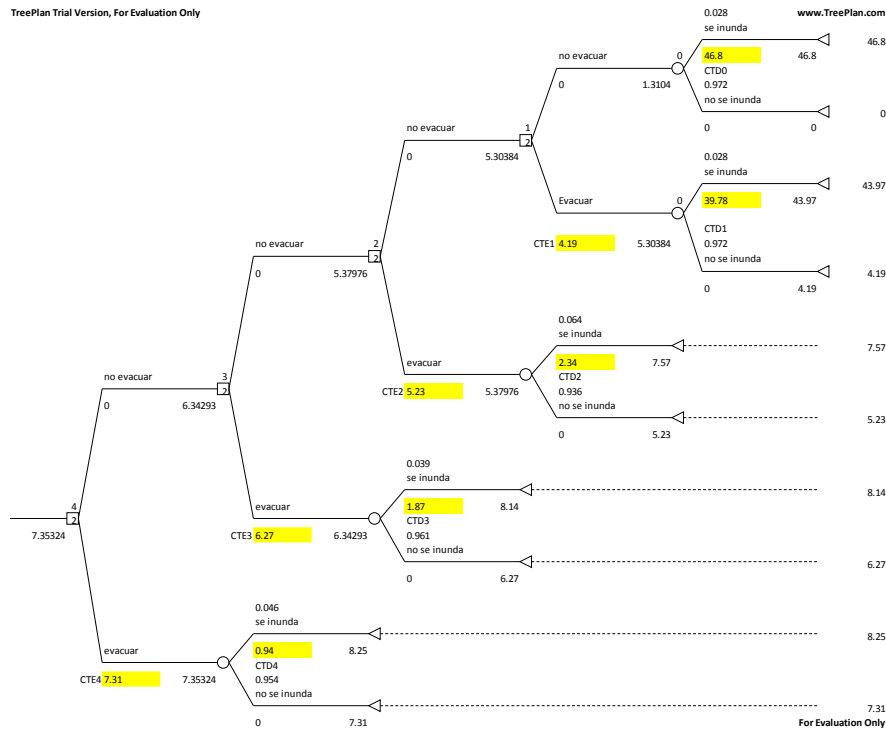
Prediction lead time(j) [days]	h_{cr} [cm + Nap]	$\mu(t_j)$ [cm]	$\sigma(t_j)$ [cm]	Δh_{pred} [cm]	P_f [-]
4	750	0	23.8	50	0.018
3	750	0	22.7	50	0.014
2	750	0	26.2	50	0.028
1	750	0	21.0	50	0.009

Prediction lead time(j) [days]	h_{cr} [cm + Nap]	$\mu(t_j)$ [cm]	$\sigma(t_j)$ [cm]	Δh_{pred} [cm]	P_f [-]
4	750	0	23.8	40	0.046
3	750	0	22.7	40	0.039
2	750	0	26.2	40	0.064
1	750	0	21.0	40	0.028

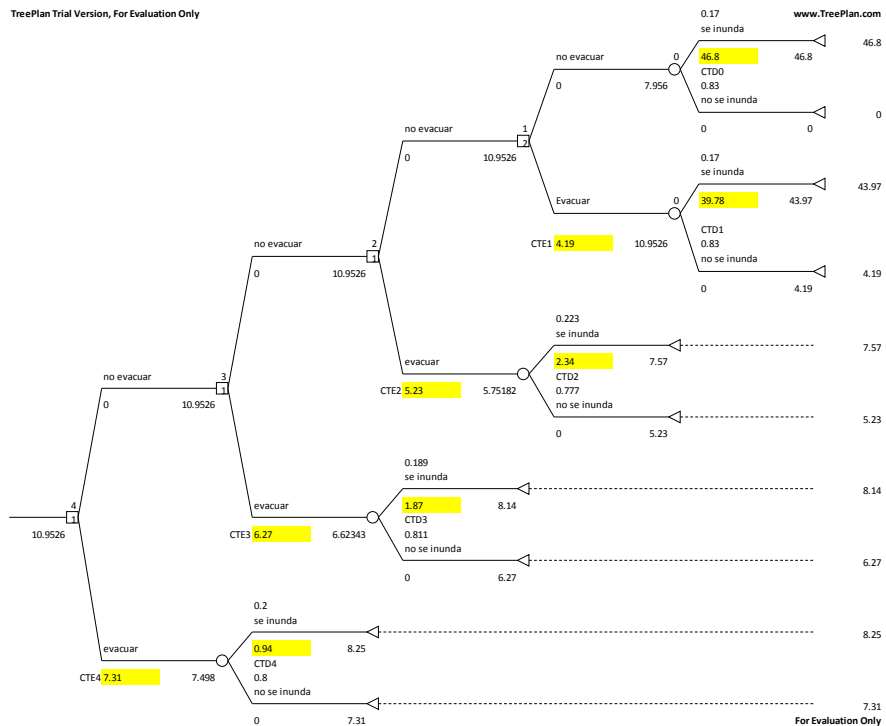
Prediction lead time(j) [days]	h_{cr} [cm + Nap]	$\mu(t_j)$ [cm]	$\sigma(t_j)$ [cm]	Δh_{pred} [cm]	P_f [-]
4	750	0	23.8	20	0.200
3	750	0	22.7	20	0.189
2	750	0	26.2	20	0.223
1	750	0	21.0	20	0.170

ANEXO C: Árboles de decisión aplicados en la prueba de sensibilidad del modelo.

1. Suma asegurada \$ 374,000.00, $(\Delta h)_{pred} = 40$ cm (4 días de predicción)

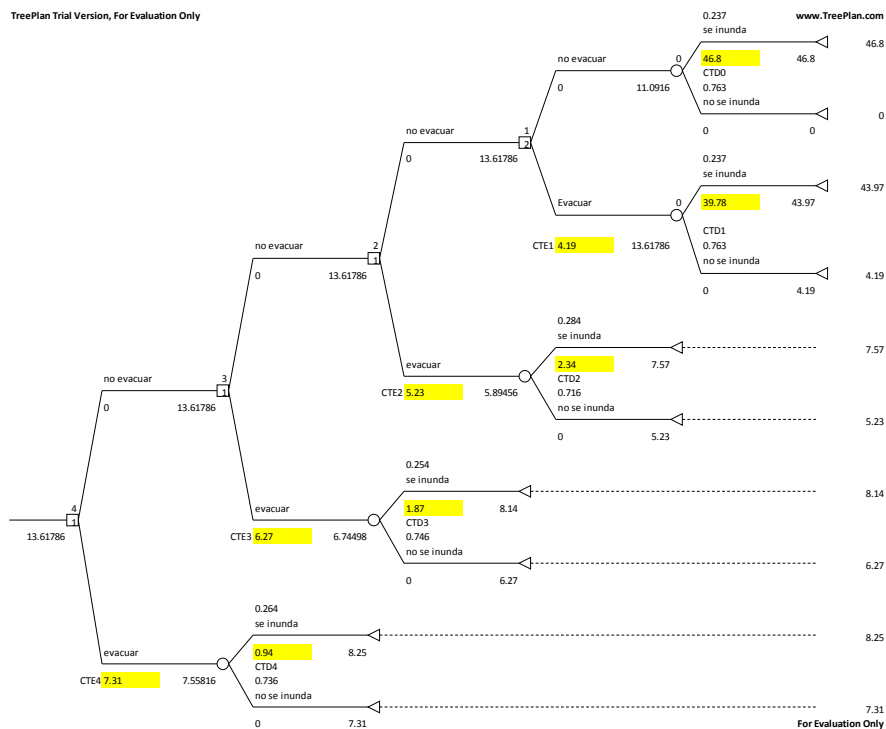


2. Suma asegurada \$ 374,000.00, $(\Delta h)_{pred} = 20$ cm (4 días de predicción)

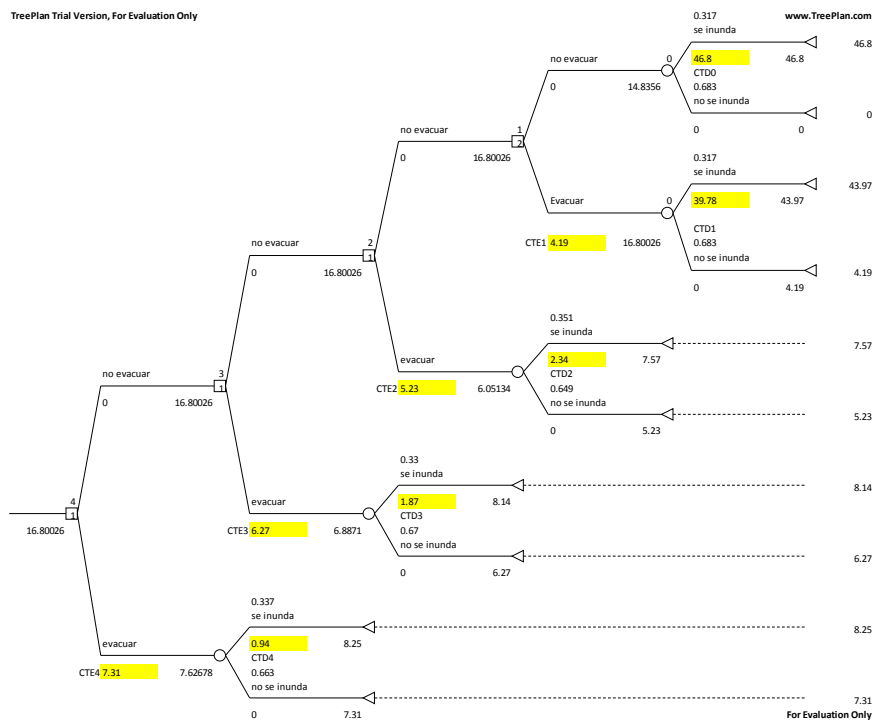


TESIS: Desarrollo de un modelo probabilístico para la toma de decisiones en casos de evacuación de población en riesgo por inundación: estudio empírico aplicado en Tabasco, México.

3. Suma asegurada \$ 374,000.00, $(\Delta h)_{pred} = 15$ cm (4 días de predicción)

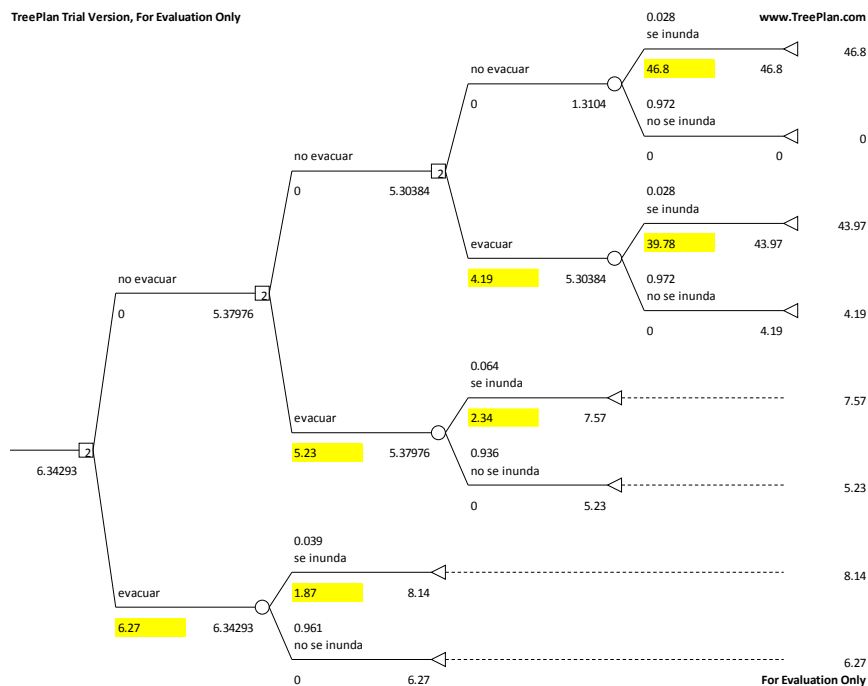


4. Suma asegurada \$ 374,000.00, $(\Delta h)_{pred} = 10$ cm (4 días de predicción)

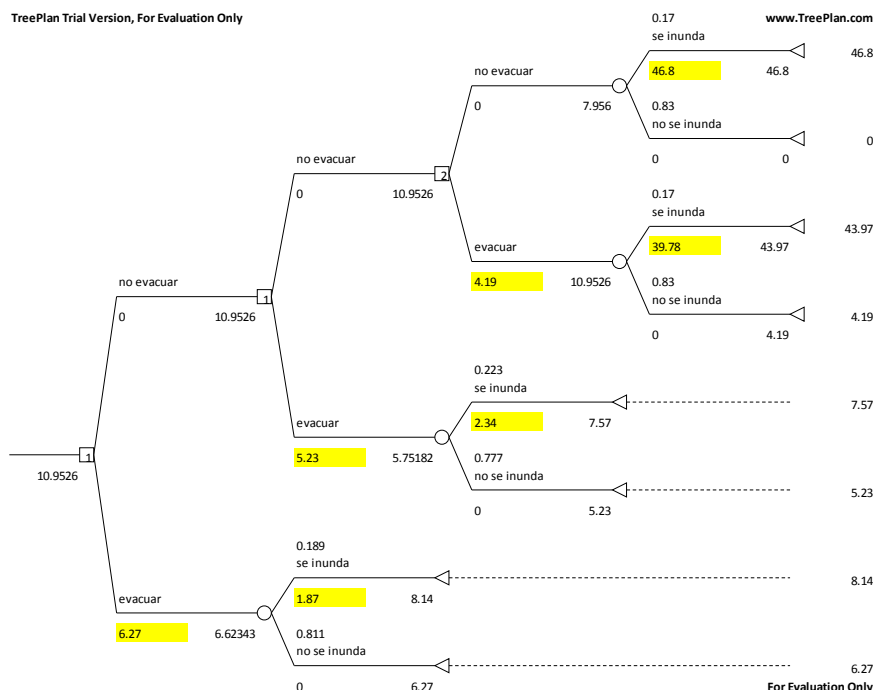


TESIS: Desarrollo de un modelo probabilístico para la toma de decisiones en casos de evacuación de población en riesgo por inundación: estudio empírico aplicado en Tabasco, México.

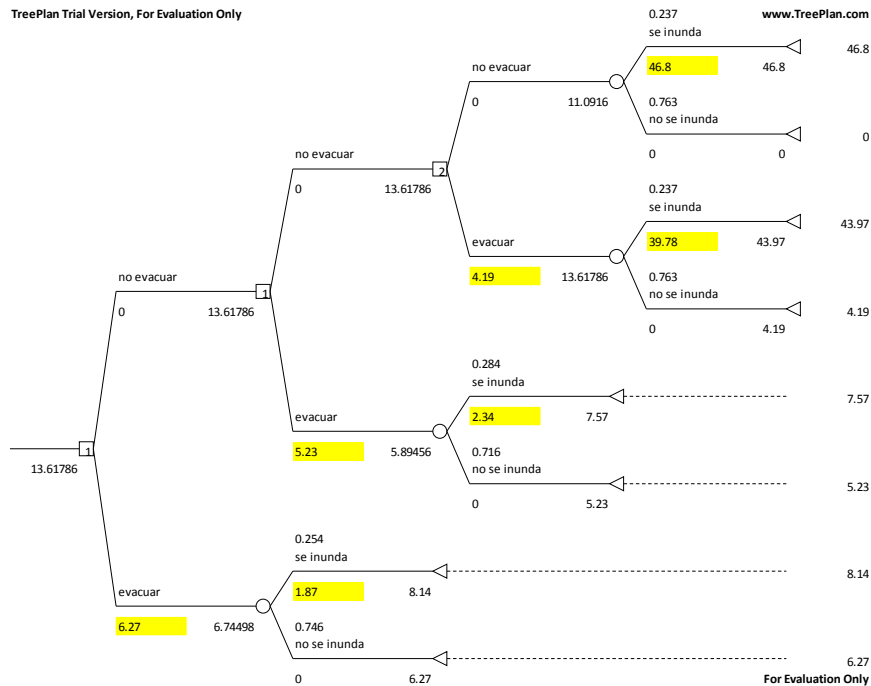
5. Suma asegurada \$ 374,000.00, $(\Delta h)_{\text{pred}} = 40$ cm (3 días de predicción)



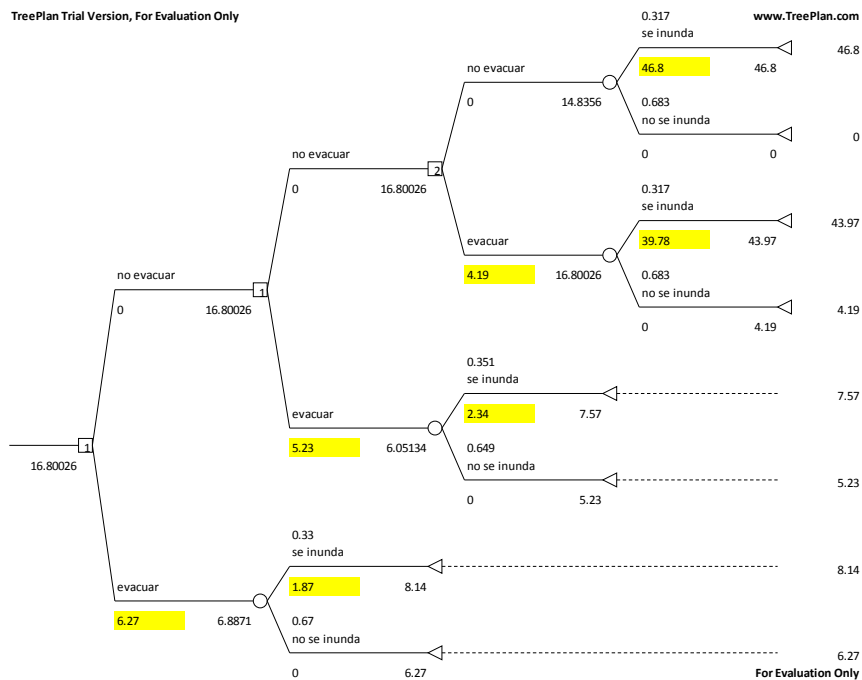
6. Suma asegurada \$ 374,000.00, $(\Delta h)_{\text{pred}} = 20$ cm (3 días de predicción)



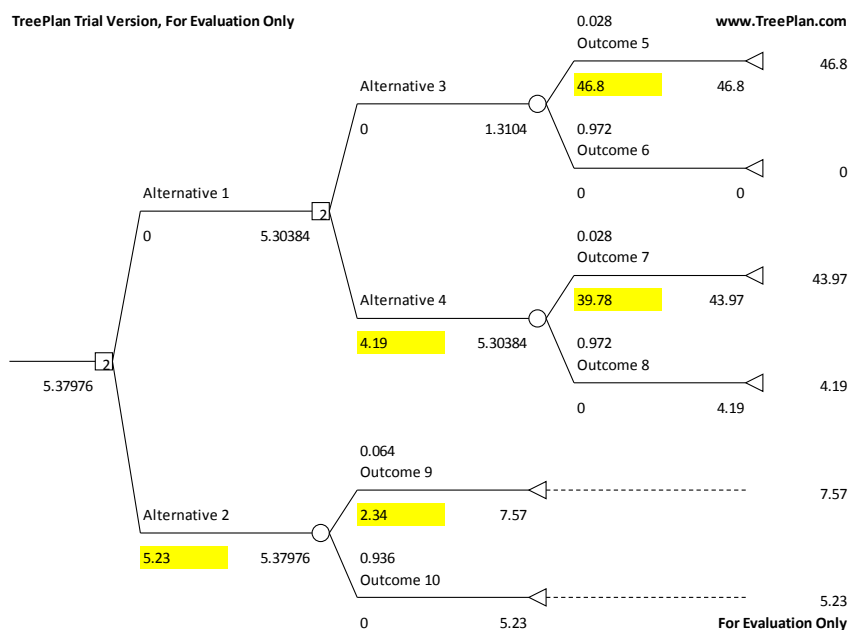
7. Suma asegurada \$ 374,000.00, $(\Delta h)_{\text{pred}} = 15 \text{ cm}$ (3 días de predicción)



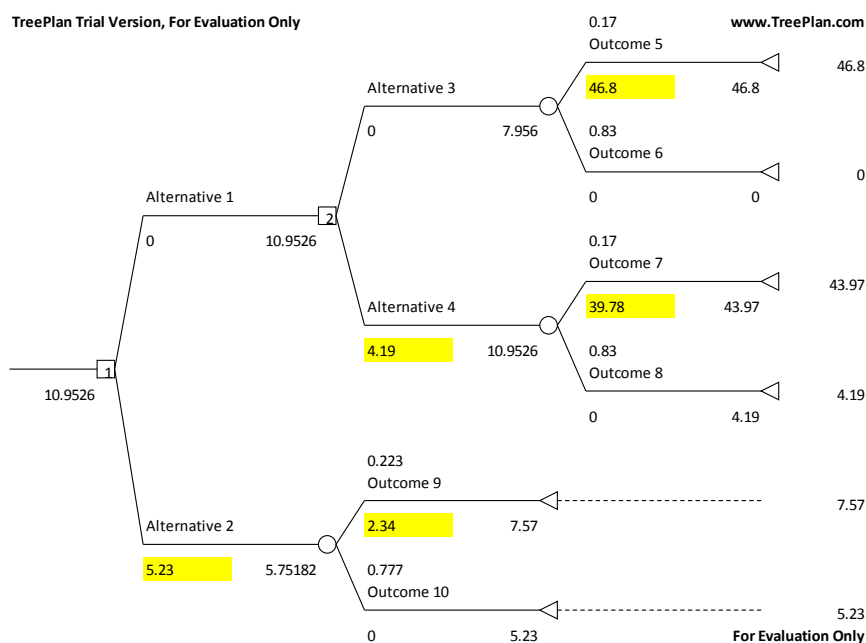
8. Suma asegurada \$ 374,000.00, $(\Delta h)_{\text{pred}} = 10 \text{ cm}$ (3 días de predicción)



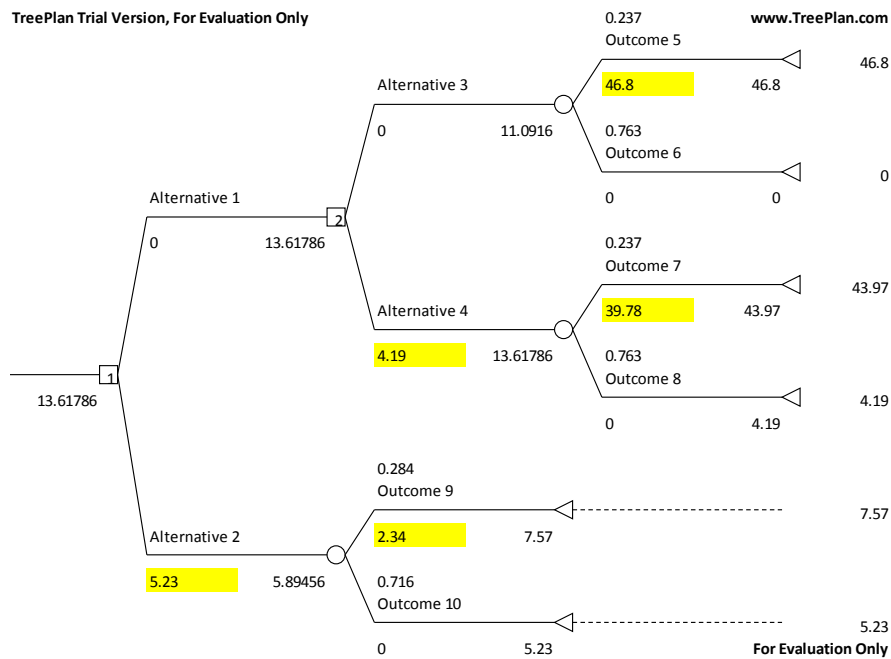
9. Suma asegurada \$ 374,000.00, $(\Delta h)_{pred} = 40$ cm (2 días de predicción)



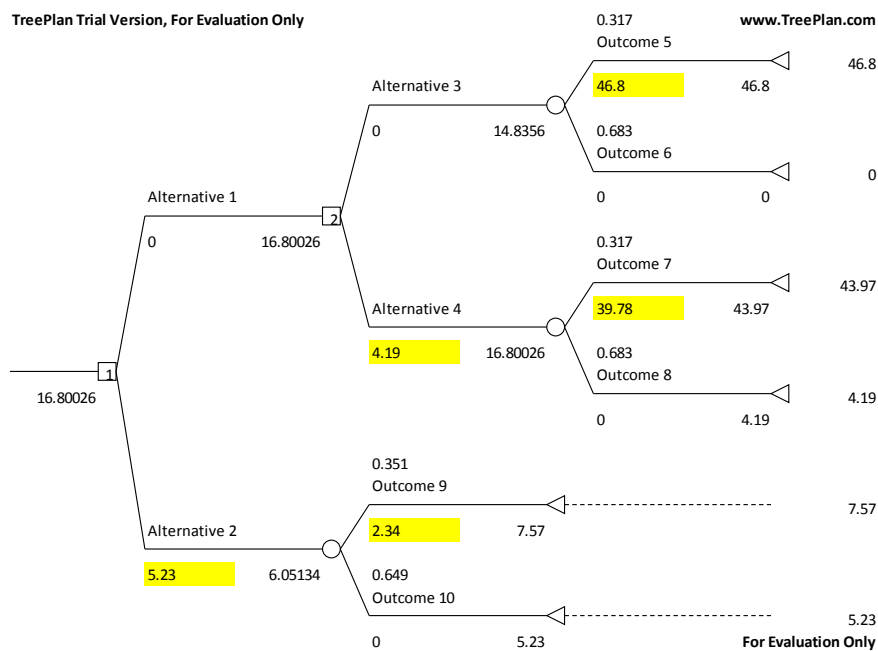
10. Suma asegurada \$ 374,000.00, $(\Delta h)_{pred} = 20$ cm (2 días de predicción)



11. Suma asegurada \$ 374,000.00, $(\Delta h)_{pred} = 15$ cm (2 días de predicción)

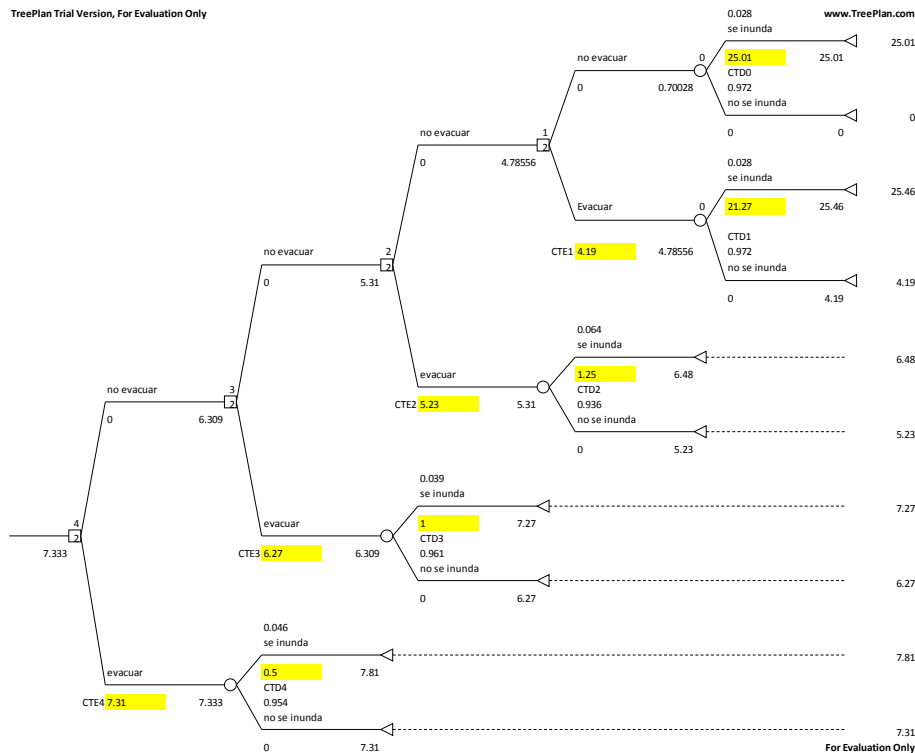


12. Suma asegurada \$ 374,000.00, $(\Delta h)_{pred} = 10$ cm (2 días de predicción)

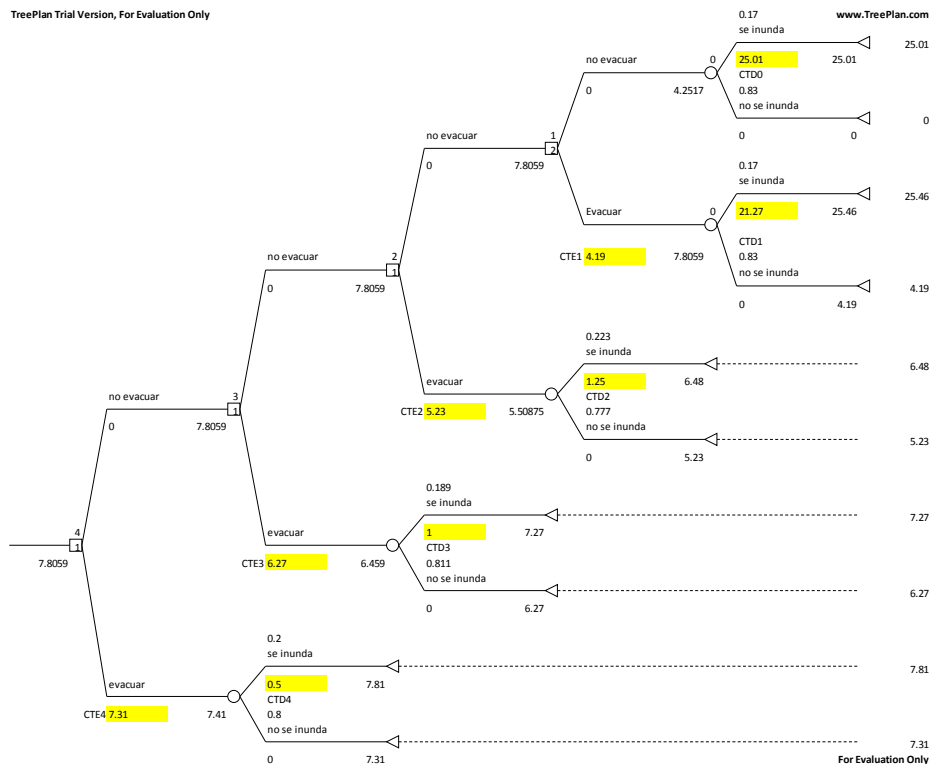


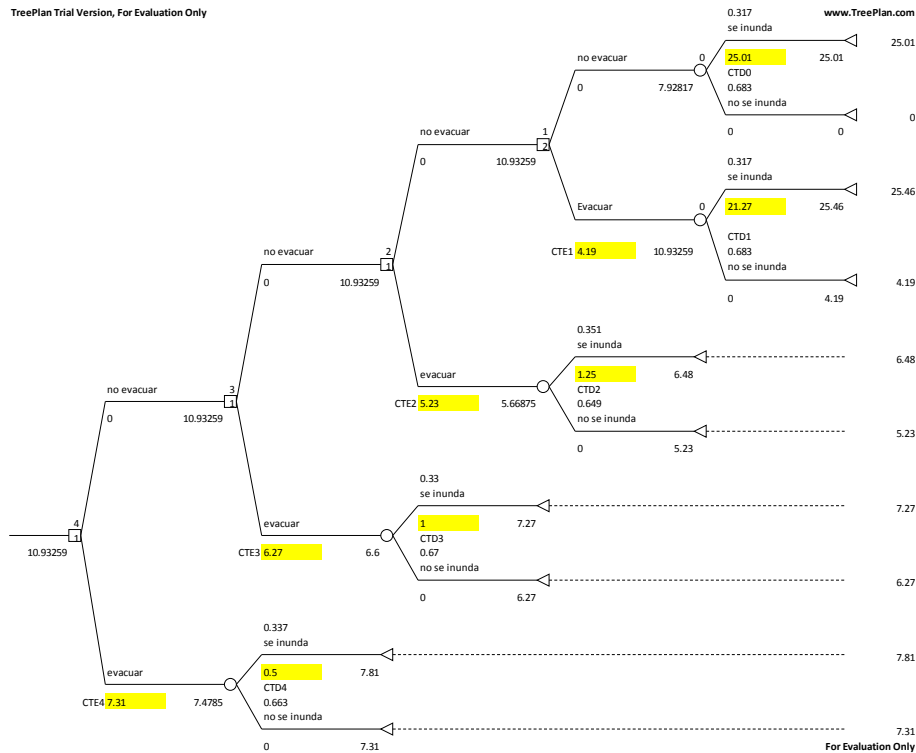
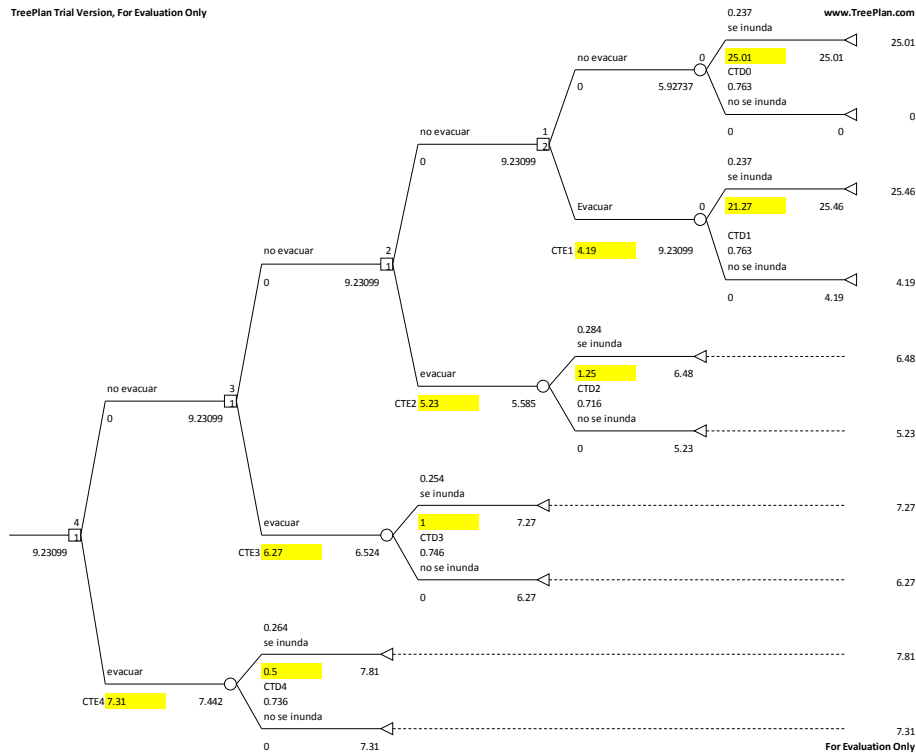
TESIS: Desarrollo de un modelo probabilístico para la toma de decisiones en casos de evacuación de población en riesgo por inundación: estudio empírico aplicado en Tabasco, México.

13. Suma asegurada \$ 200,000.00, $(\Delta h)_{pred} = 40$ cm (4 días de predicción)

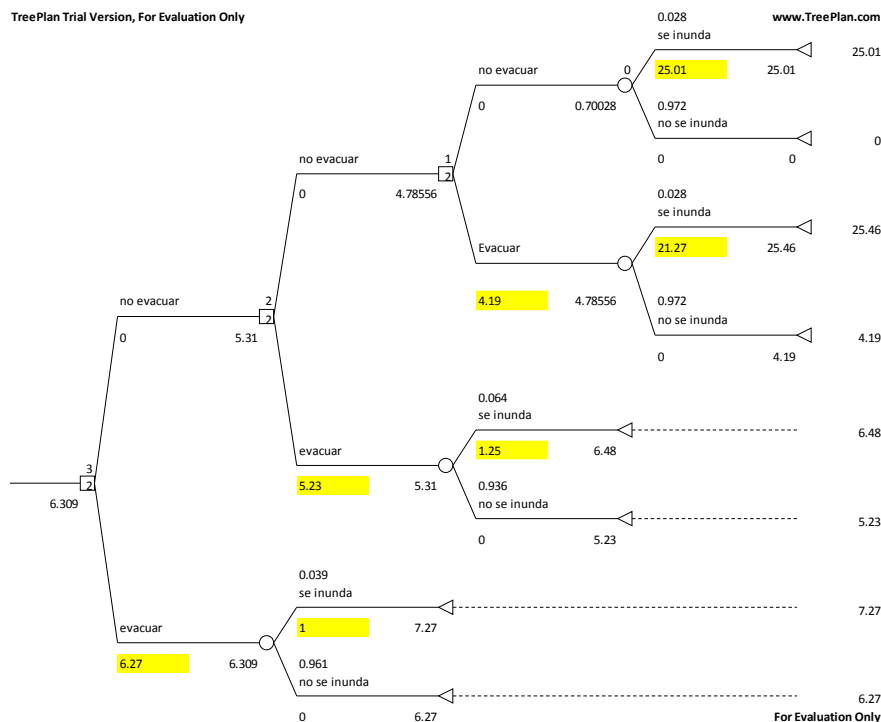


14. Suma asegurada \$ 2,000.00, $(\Delta h)_{pred} = 20$ cm (4 días de predicción)

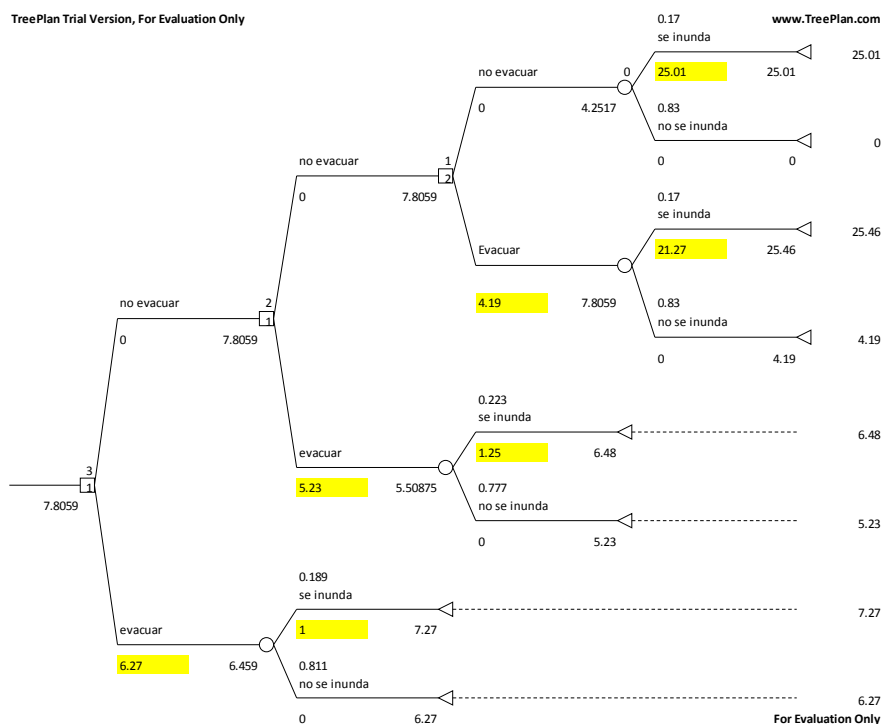




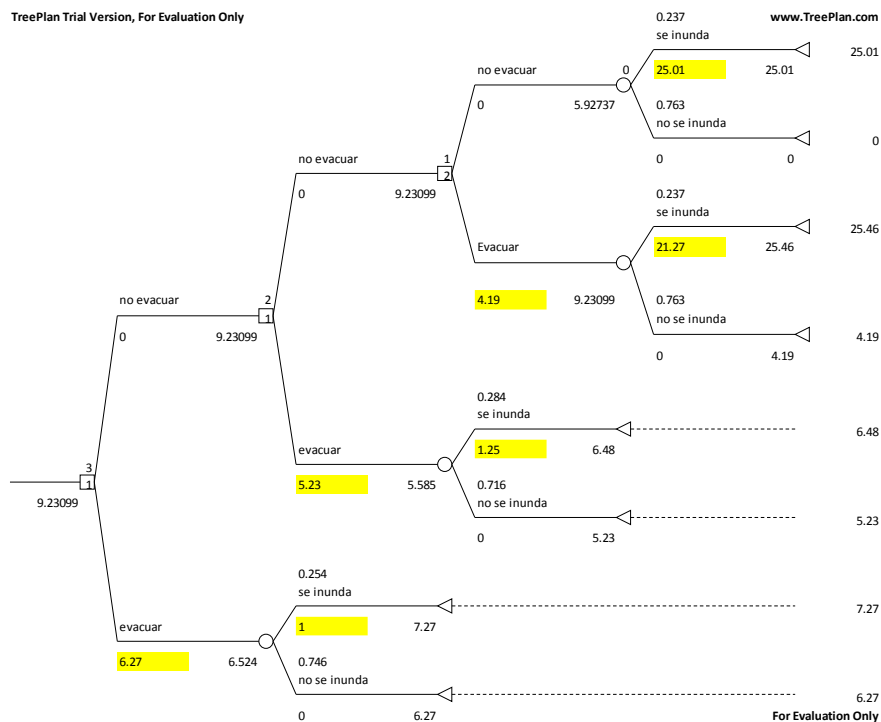
17. Suma asegurada \$ 2,000.00, $(\Delta h)_{pred} = 40$ cm (3 días de predicción)



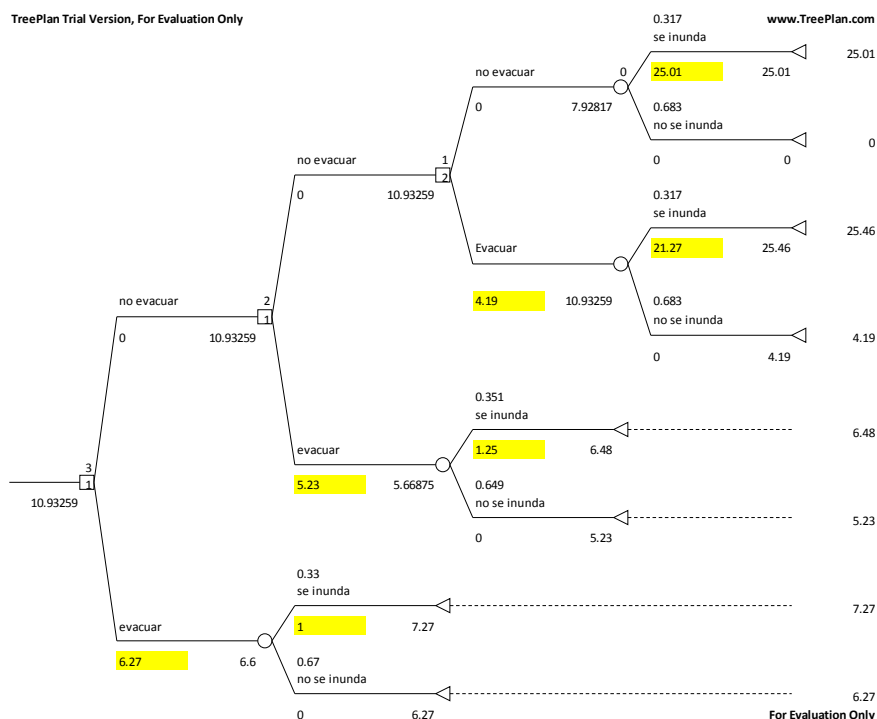
18. Suma asegurada \$ 2,000.00, $(\Delta h)_{pred} = 20$ cm (3 días de predicción)



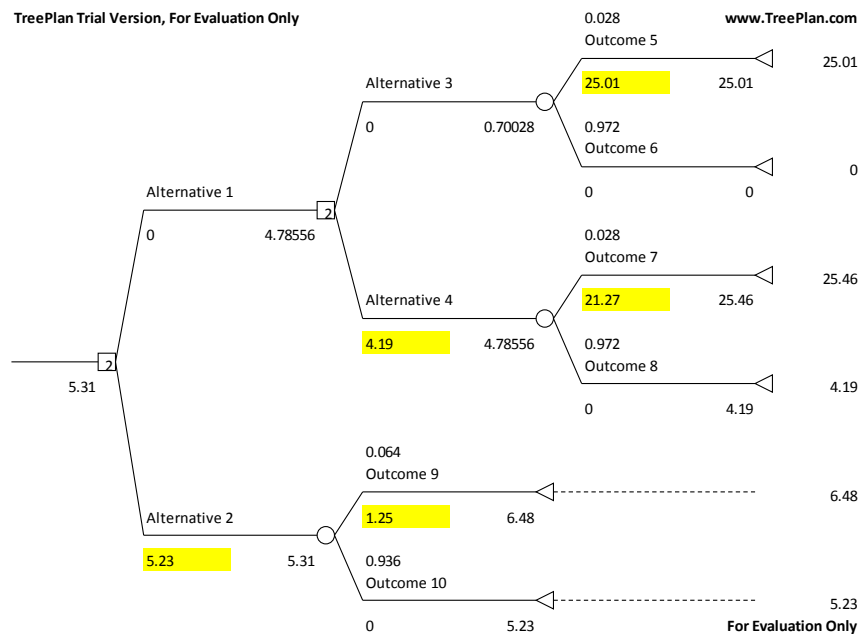
19. Suma asegurada \$ 2,000.00, $(\Delta h)_{pred} = 15$ cm (3 días de predicción)



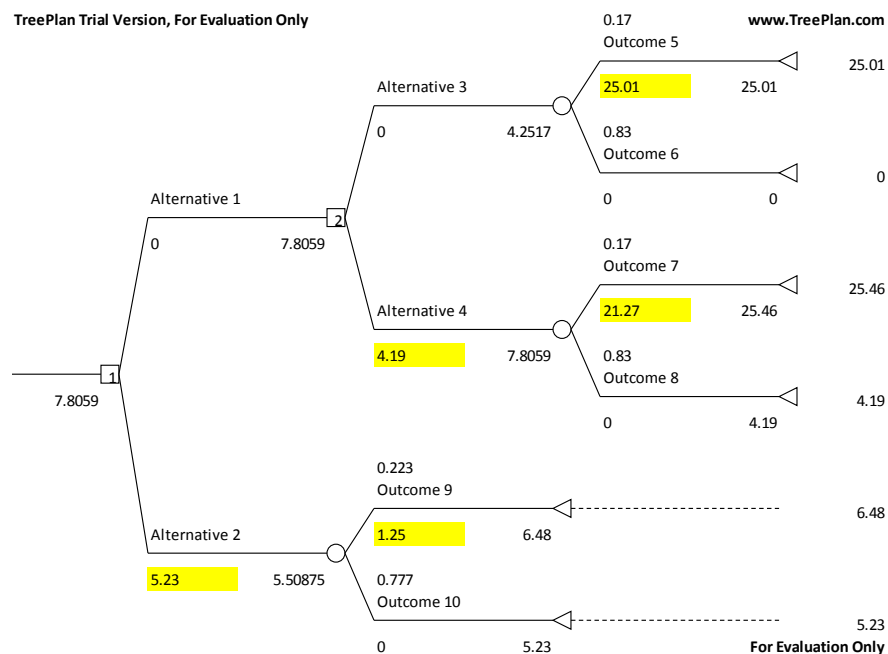
20. Suma asegurada \$ 2,000.00, $(\Delta h)_{pred} = 10$ cm (3 días de predicción)



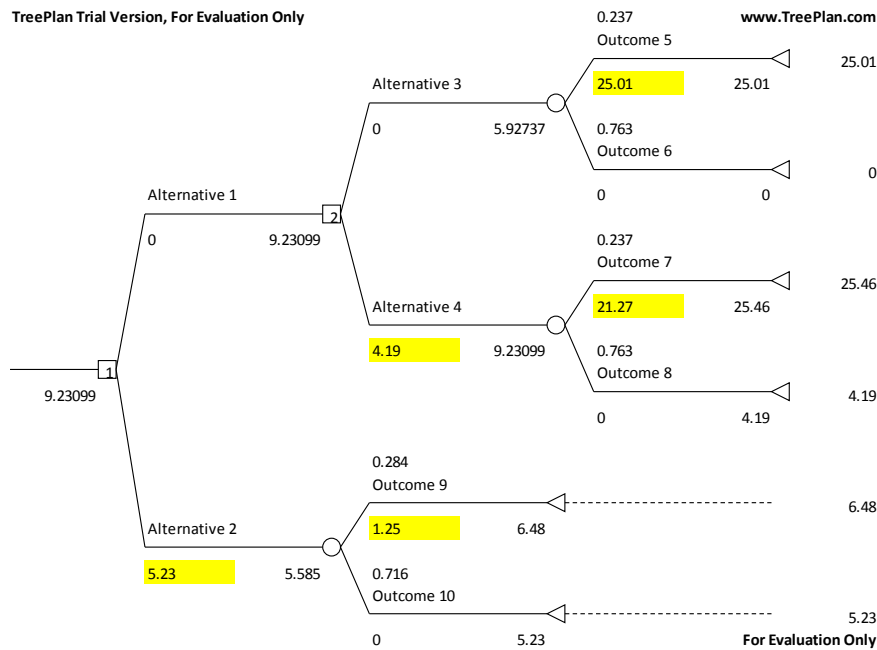
21. Suma asegurada \$ 2,000.00, $(\Delta h)_{pred} = 40$ cm (2 días de predicción)



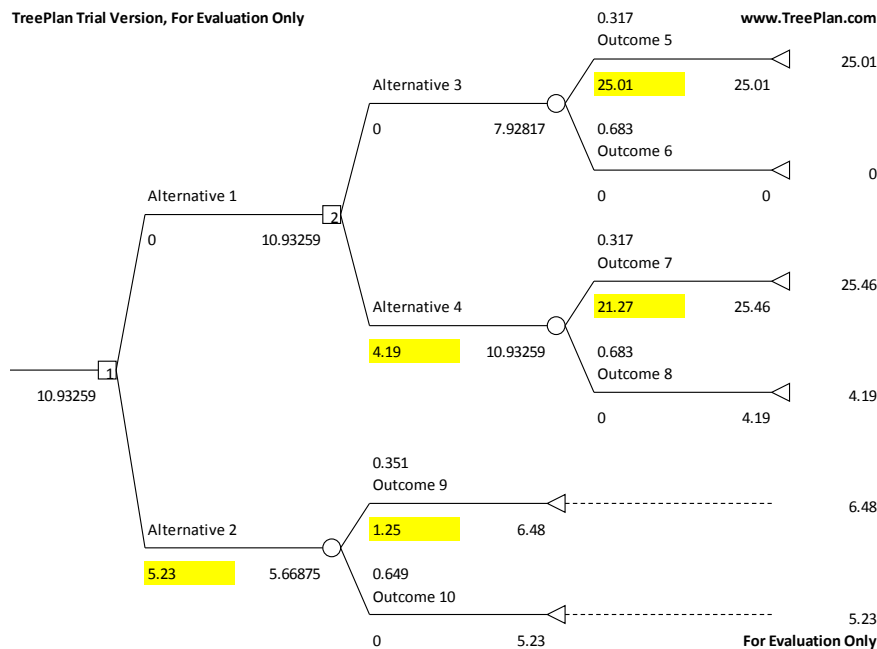
22. Suma asegurada \$ 2,000.00, $(\Delta h)_{pred} = 20$ cm (2 días de predicción)



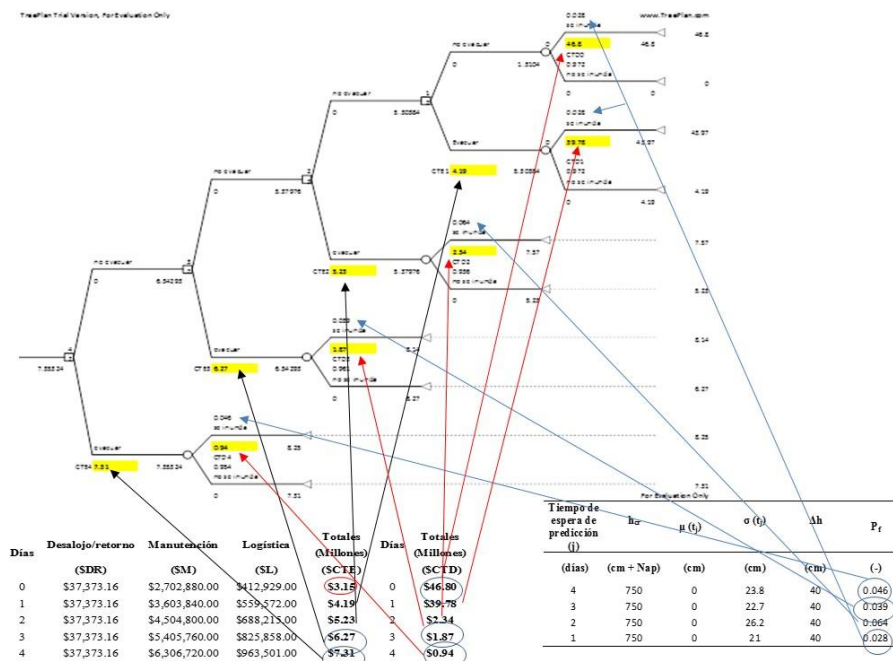
23. Suma asegurada \$ 2,000.00, $(\Delta h)_{pred} = 15$ cm (2 días de predicción)



24. Suma asegurada \$ 2,000.00, $(\Delta h)_{pred} = 10$ cm (2 días de predicción)



ANEXO D: Instructivo para vaciar datos en los árboles de decisión.



Para el caso mostrado en la figura se ilustra un árbol de decisión para cuatro días previos al suceso con las tablas de costos (\$CTE y \$CTD) y las probabilidades de desbordamiento.

Para el vaciado de datos se requiere seguir algunas reglas sencillas:

- Si la *probabilidad de que se inunde* es, por ejemplo 0.2, la *probabilidad de que no suceda* es $1.0 - 0.2 = 0.8$, es decir el complemento.
- Las flechas en color negro indican las ubicaciones para los \$CTE, las flechas en color rojo indican las ubicaciones para \$CTD y las flechas en color azul indican, la probabilidad de desbordamiento.
- Observe que el \$CTE del día cero (0) (encerrado en círculo rojo), no se captura en el árbol.
- Observe que la probabilidad del día 1, se repite en ambas ramas últimas del árbol.
- La misma lógica aplica para árboles de tres días. En caso de tener dificultades en el vaciado, consultar la figura 5-4.

Primer autor-PUBLICADO 1



Primer autor-PUBLICADO 2

Sistema de Soporte a las Decisiones (SSD) en evacuación: estudio empírico aplicado en Tabasco, México.

✉ **Miguel Balladares Sánchez ^a; Beatriz Pico González ^b, Juan Ramírez Marroquín ^c,
Eduardo Olivares Pérez ^d, Ernesto Rodríguez Moguel ^e.**

**^{a,c,e} Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Cunduacán Jalpa de Méndez,
Km. 1, Cunduacán Tabasco, México. CP 86690. miguel.balladares@ujat.mx**

^b Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

^d Comisión Federal de Electricidad

Resumen

En este trabajo se integran dos conceptos básicos: escenarios de inundación y decisiones secuenciales. El propósito es proporcionar a usuarios potenciales una metodología de apoyo a las decisiones cruciales durante una emergencia por inundación. El modelo minimiza los costos por evacuación y los costos por daños generados a partir del escenario propuesto. La herramienta que integra ambos conceptos son los árboles de decisión; éstos permitirán apoyar las siguientes decisiones: a) No evacuar; b) Evacuar; y c) Retardar la evacuación. La propuesta se aplicó a un escenario de inundación ocurrido en la ciudad de Villahermosa Tabasco, México. Los costos por transportación calculados a partir de las características del escenario fueron obtenidos mediante fórmulas simplificadas que consideraron la distancia media entre albergues. Las probabilidades de suceso fueron propuestas para cuatro y tres días antes del suceso. Se presentan resultados preliminares derivados del caso de estudio.

Palabras clave

Inundación, evacuación, árboles de decisión, escenario

1. Introducción

De los fenómenos geo peligrosos que ocurren en el mundo, las inundaciones ocasionan alrededor del 40% de las pérdidas económicas y vidas humanas, estimadas en 40 000 millones de dólares y 250 000 víctimas por año, respectivamente (Llanes, 2012). Solo en Asia, ocurren más de la mitad de las catástrofes relacionadas con inundaciones (Tingsanchali, Tingsanchali. Urban flood disaster management. Procedia Engineering , 2012). En ese sentido, la generación de escenarios ha contribuido a mejorar la toma de decisiones antes, durante y después de un evento en lo que se define como el *marco estratégico* para aportar a la mitigación de los impactos (Jing-Hong, 2014).

Los escenarios de inundación se asocian a Periodos de Retornos. Estos se definen como el tiempo en años en que es posible se repita un evento de lluvias o escurrimientos de cierta magnitud que provoque la inundación en un área de interés (Aparicio, 1992). Para la generación de escenarios de inundación, Suárez (2011) sugirió dos métodos: a) la simulación y b) la generación mediante información obtenida de organismos oficiales o en documentos históricos. En cuanto a simuladores, se han desarrollado diferentes aplicaciones. Los más reconocidos son: Mikeflood (Llanes, 2012), Sobek, (DELTA RES, 2015) e IBER. La utilidad de un simulador se define por su capacidad para simular en dos dimensiones (LIU, 2012). Esto es relevante en la generación de escenarios dado que se aporta mayor información de entrada a los modelos.

En cualquiera de las etapas del marco estratégico mencionado, la toma de decisiones (Dahm, 2013) juega un papel relevante dado que, existe una tendencia al aumento de los costos de los desastres y la frecuencia de ocurrencia en escenarios asociados al cambio climático (Climate, 2014). Al respecto, Tanako (2012) refirió que las sociedades con mayor desarrollo sufren mayores pérdidas económicas

En lo que refiere a estudios sobre evacuación de gran escala, ésta se ha abordado desde cuatro enfoques: *las teorías de la evacuación, el modelado de la evacuación, la toma de decisiones en evacuación y la evaluación de riesgos durante la evacuación* (Tingsanchali, Tingsanchali. Urban flood disaster management. Procedia Engineering , 2012).

Autor	Tratamiento del tema	Ausencias
Frieser (2004). Holanda	Documenta las experiencias generadas a partir de una inundación ocurrida por desbordamiento de un dique en Holanda. Genera un modelo probabilístico de toma de decisiones aplicando árboles de decisión. El método que utiliza para la evaluación de costos es el <i>método estándar</i>. Las probabilidades que utiliza para alimentar los árboles de decisión se obtienen de la <i>probabilidad de falla</i> de los diques. Los costos tangibles directos los deduce el autor a partir de indemnizaciones recibida por las familias afectadas de parte del gobierno Se demuestra mediante el estudio de caso que los costos tangibles directos: costos de evacuación y costos por daños, varían de forma diferente con el tiempo. Este comportamiento y las consecuencias sociales de evacuaciones fallidas permite plantear un modelo que sugiere tres cursos de acción: a) Evacuar inmediatamente b) No evacuar c) Retardar la evacuación hasta obtener mayor información	No se aborda el concepto de escenarios ni una metodología para generarlos. Son irrelevantes para el modelo, los niveles alcanzados por la inundación prevista. Los costos por daños que aplican al modelo, considera la totalidad de los factores que los generan. Para estudios a priori, sería muy complejo predecir con cierta aproximación los costos. El cálculo de costos aplica solo al contexto europeo y no se muestran alternativas para abordar el estudio en otros contextos.
(Yang, The research of multi resolution of the	Aplica la teoría de sistemas complejos y presenta dos tipos de modelo para la simulación de la evacuación peatonal como apoyo a la toma de decisiones.	La dinámica del flujo de personas planteada en el modelo no considera las posibles restricciones en las rutas de escape equivalentes a las pérdidas locales en la teoría del flujo de

emergency evacuation, 2012) China	Uno de los modelos se basa en marco de trabajo Multi-agente y un algoritmo PSO modificado. El otro se basa en las ecuaciones de Euler sobre la dinámica de fluidos. El estudio de caso de la simulación de flujo peatonal se desarrolla en Optical Valley Plaza.	fluidos. Al abordarse el problema en dos dimensiones, el plano del flujo es totalmente horizontal. Si existieran variaciones en el nivel del terreno, podrían verse afectadas la velocidad y densidad del flujo; variables importantes en la generación de escenarios. El modelo no presenta la posibilidad de una evacuación transportada.
(Kailiponi, 2010) UK	Modelo de decisión basado en ERGO (Evacuation Responsiveness by Government Organizations). Participan en el desarrollo y la validación de este proyecto, siete países de la unión Europea y Japón. La tesis principal de este trabajo afirma que la toma de decisiones durante una emergencia implica resolver objetivos en conflicto y manejar altos niveles de incertidumbre. Argumenta que la teoría MAUT provee un marco de trabajo adecuado para la toma de decisiones en casos de desastres. Muestra, mediante resultados, cómo un pronóstico poco preciso puede afectar la toma de decisiones. La consecuencia de cualquier decisión tomada está determinada no sólo por la función objetivo, sino también por una función de probabilidad de factores exógenos. El modelo define 6 objetivos preliminares y sus atributos para la toma de decisiones en evacuación. El modelo establece tres posibles cursos de acción para los decisores: a) No actuar b) Difundir el peligro c) Ordenar una evacuación leve d) Ordenar una evacuación con urgencia El modelo confirma que los costos derivados de la muerte de personas tienen un peso importante en las decisiones. De entrada se establecen los objetivos a evaluar en un proceso de evacuación.	A pesar de que algunos factores relacionados con el contexto, pueden variarse para aplicaciones del modelo en situaciones particulares, otras variables, como los medios para difundir alertas, medios para la evacuación transportada, entre otros, puede variar significativamente de un país a otro y afectar la toma de decisiones. No se aborda la metodología que se aplicó para la generación de escenarios y la obtención de las probabilidades de falla de los diques.
(Varela, On-board Decision Support System for Ship Flooding, 2014) Portugal	Se aborda la aplicación de un modelo de soporte a la toma de decisiones en casos de hundimiento de un barco de pasajeros. Se utiliza como herramienta un algoritmo altamente optimizado que posee dos módulos: <i>el Módulo de entorno virtual</i> y <i>el Módulo de inundación progresiva</i>. Ambos módulos trabajan en tiempo real aplicando el principio de arquitectura de cómputo distribuida. Las funciones principales del modelo son: 1. Identificación de zonas de riesgo. 2. Localización de compartimientos aislados 3. Identificación de rutas de evacuación	El escenario de inundación no considera la evaluación de costos. El tomador de decisiones no tiene control de las variables que ocasionan la emergencia. Se omiten consideraciones sobre comportamiento humano durante la emergencia.

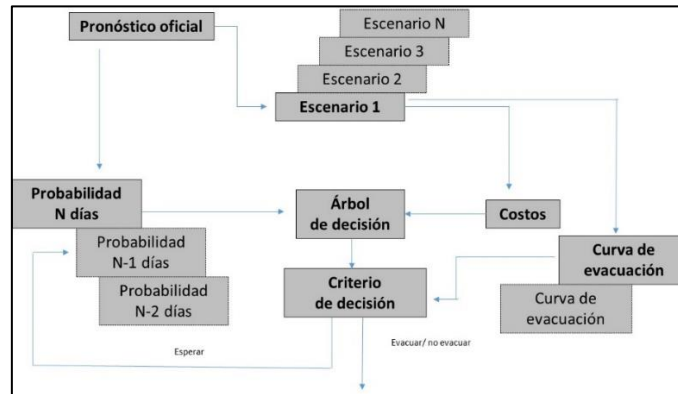
Tabla 1. Desarrollo de Modelos para la Toma de Decisiones para casos de evacuación por inundación: Estado del arte. Elaboración propia

De los casos expuestos en la tabla 1 se detecta un vacío importante en la integración de métodos o modelos al contexto mexicano que tengan como destino las dependencias gubernamentales de atención a desastres. Por otra parte, resulta importante apuntar que, de acuerdo a Jing-Hong et al (2014), hay poca claridad de resultados al intentar analizar exhaustivamente todos los factores que pudieran influir durante una evacuación mediante un solo modelo, y si se considera que la mayoría de las _aportaciones se orientan de acuerdo al criterio de los autores (Yazo, 2014), se propone integrar un modelo adaptado al contexto mexicano y al desbordamiento de un río de planicie. El modelo propuesto aplica el concepto de decisiones secuenciales (Clement, An introduction to decision analysis. Second edition. E.U.: Duke University, 1995, 24-27 pp., 1995) mediante árboles de decisión abordados por Frieser (2004) adaptándolo al contexto del desbordamiento de un río de planicie.

El proceso inicia a partir de la difusión de un pronóstico oficial que se asocie una probabilidad de inundación. A partir del pronóstico se selecciona un escenario de inundación de un grupo de escenarios previamente generados. El escenario seleccionado provee los datos necesarios para el cálculo de los

costos denominados en este trabajo como Costos Totales de Evacuación (\$ CTE) y los Costos Totales por Daños (\$ CTD). En la Figura 1 se muestra el modelo de integración.

Figura 1: Modelo propuesto. Elaboración propia



2. Materiales y métodos

2.1 Definición del área de estudio

El escenario de inundación seleccionado es similar al ocurrido en Villahermosa Tabasco en el año 2007; en el cual se vieron afectadas unas 12,513 personas y se evacuaron alrededor del 60% (7508 personas) de ellas por medios oficiales, hacia los diferentes albergues de la Ciudad de Villahermosa (CEPC-Tabasco, 2014). Este escenario se asocia a un periodo de retorno de diez años ($Tr = 0.1$).

2.2 Cálculo de los costos totales

Las fórmulas para calcular los dos tipos de costos que se consideraron en este trabajo son: los *costos totales por evacuación* (\$ CTE) y los *costos totales por daños* (\$ CTD).

$$\text{\$ CTE} = \text{\$ DR} + \text{\$ M} + \text{\$ L} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

$\text{\$ CTE}$ = Costos Totales de Evacuación, $\text{\$ DR}$ = Costos Desalojo-Retorno $\text{\$ M}$ = Costos de Manutención y $\text{\$ L}$ = Costos de Logística

$$\text{\$ DR} = \text{TPD} / \text{CT} * 4 \text{DMA} * \text{\$ KMR} \quad (\text{Ec.2})$$

TPD = Total de Personas Desalojadas y albergadas, CT = Capacidad del Transporte, DMA = Distancia Media entre Albergues y puntos de encuentro de la zona en km y $\text{\$ KMR}$ = Costo por Km. Recorrido

$$\text{\$ M} = \text{\$ AD} * \text{TPD} * \text{ND} \quad (\text{Ec.3})$$

$\text{\$ AD}$ = Alimentación Diaria/Persona, TPD = Total de Personas Desalojadas y Albergadas y ND = Número de días entre la evacuación y el evento + 3

$$\text{\$ L} = \text{SMD} * \text{NA} / 20 * \text{ND} \quad (\text{Ec.4})$$

$\text{\$ SMD}$ = Salario Medio /Día y NA = No. De afectados

En la integración de los **Costos totales por daños** es necesario precisar que, a diferencia de la consideración del *número de personas desalojadas (TPD)* considerados en el *Costo totales por evacuación*, en esta fórmula se considera a la *población total afectada (NA)*.

$$\text{\$ CTD} = 0.01 * \% \text{ NED} * \text{NA} * \text{\$ VED} \quad (\text{Ec.5})$$

Donde:

NED = No Evacuados/Día, NA = Número de Afectados y \$ VED = Valor Económico por Deceso

En la asignación del valor económico por deceso, se consideraron los criterios establecidos por la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros (AMIS) (SEGUROS, 2014). El criterio asumido establece como valor por deceso el monto medio asegurado, a nivel nacional, por persona como protección contra fallecimiento.

Finalmente, los valores NED (No evacuados por día) para aplicar la fórmula 5, se toman de la curva de evacuación respectiva.

3. Resultados

Para un pronóstico de ocurrencia, 4 días antes del suceso: En la tabla 2 se indica el pronóstico extendido, que se supuso, para cuatro días previos a la presencia del evento, las probabilidades de ocurrencia del mismo (inundaciones de 2007 en el Distrito 1 de Villahermosa Tabasco, Tr = 0.1).

Días previos	Probabilidad
1	0
2	0.0001
3	0.01
4	0.081

Tabla 2. Pronóstico para cuatro días previos al evento. Elaboración propia

Paso 1: Se asignaron los datos básicos para el escenario propuesto y se seleccionó la curva de respuesta de la población.

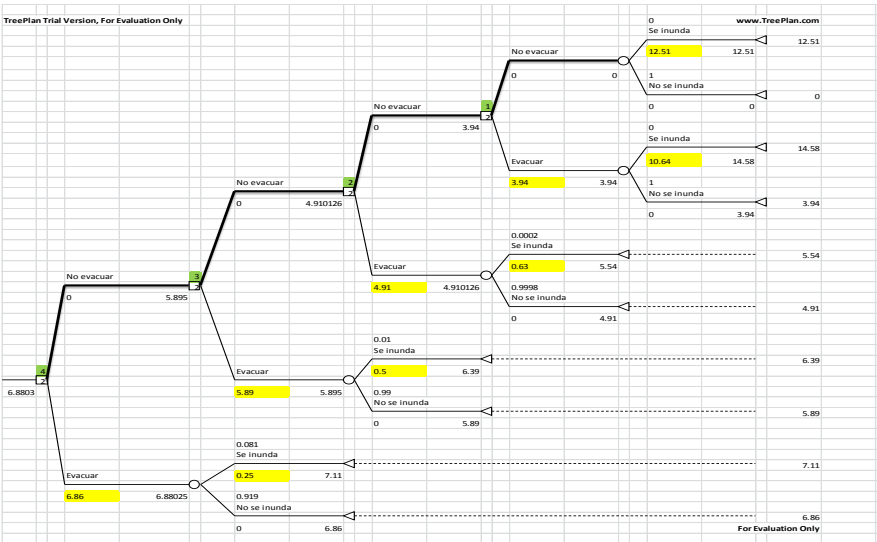
Paso 2: A partir de un pronóstico de 4 días, se calcularon los costos totales de evacuación y daños aplicando las ecuaciones 1 a la 5. En la tabla 3 se indican los montos totales obtenidos.

COSTOS TOTALES POR EVACUACIÓN Y POR DECESOS						
DIAS	Desalojo/retorno (\$ DR)	Manutención (\$ M)	Logística (\$ L)	Totales (Millones) (\$ CTE)	DIAS	Totales (Millones) (\$ CTD)
	Fórmula (2)	Fórmula (3)	Fórmula (4)	Fórmula (1)		Fórmula (5)
0	\$ 37,373.16	\$ 2,702,880.00	\$ 412,929.00	\$ 3.15	0	\$ 46.80
1	\$ 37,373.16	\$ 3,603,840.00	\$ 550,572.00	\$ 4.19	1	\$ 39.78
2	\$ 37,373.16	\$ 4,504,800.00	\$ 688,215.00	\$ 5.23	2	\$ 2.34
3	\$ 37,373.16	\$ 5,405,760.00	\$ 825,858.00	\$ 6.27	3	\$ 1.87
4	\$ 37,373.16	\$ 6,306,720.00	\$ 963,501.00	\$ 7.31	4	\$ 0.94

Tabla 3. Costos totales. Elaboración propia

Paso 3: En la figura 2 se ilustra el árbol correspondiente para un pronóstico extendido de cuatro días; para esta situación se observa que, si se mantenía el pronóstico sin cambios durante los cuatro días siguientes, y que de acuerdo a la curva de evacuación se requerían por lo menos 48 horas para evacuar al 95 % de la población, pudo no iniciarse una evacuación inmediata y fue posible optar por la decisión de retardar la misma y esperar nueva información que retroalimentara al modelo. **En este caso se optó por retardar la evacuación un día para obtener un nuevo pronóstico.**

Figura 2. Árbol de decisión para 4 días de pronóstico. Elaboración propia



Paso 4: Pronóstico actualizado, para 3 días antes del suceso: Dado que en el paso anterior (3) se optó por retardar la evacuación un día para obtener un nuevo pronóstico. Se supuso un nuevo pronóstico y se observa que el nuevo pronóstico para los tres días siguientes había cambiado drásticamente como se indica en la tabla 4.

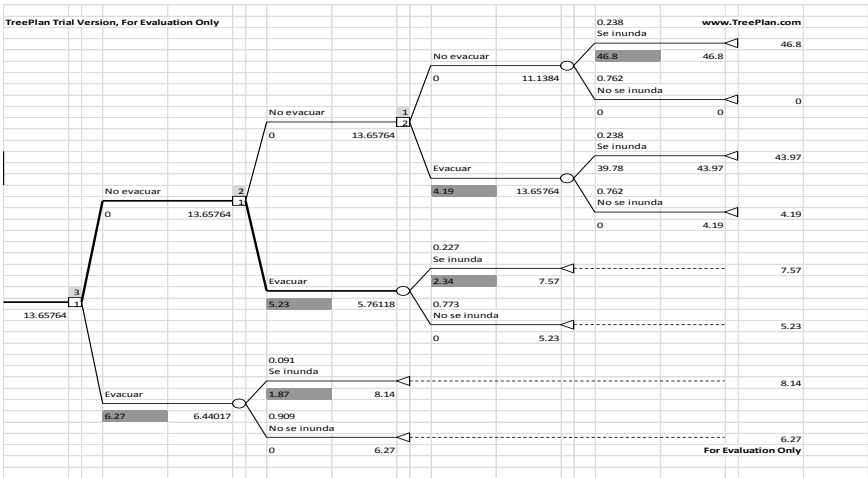
Día	Probabilidad
1	0.238
2	0.227
3	0.091

Tabla 4.Pronóstico para tres días. Elaboración propia

Se construyó un nuevo árbol con un horizonte de planificación de $(N-1)=3$ días. Se utilizaron los costos calculados en el paso 2.

De acuerdo al nuevo pronóstico, se construyó el árbol correspondiente indicado en la Figura 3.

Figura 3. Árbol de decisión para pronóstico de tres días. Elaboración propia



Paso 5: De acuerdo a esta nueva situación, el árbol de decisiones indicó (ruta marcada en negro) una **evacuación necesaria en el día 2**, debido a que los costos de evacuación (**5.76 millones**) son menores a los costos por daños posibles (**13.65 millones**) y la curva de evacuación indica que no existía mayor margen de espera.

4. Conclusiones

Finalmente, ante la prioridad de optimizar los recursos económicos los árboles de decisión son una herramienta accesible a cualquier instancia gubernamental de atención a desastres interesada en su aplicación como elemento de apoyo a la toma de decisiones.

5. Referencias

- CEPC-Tabasco. (8 de febrero de 2014). *Protección Civil Tabasco*. Recuperado el 2 de febrero de 2014, de Protección Civil Tabasco: <http://proteccioncivil.tabasco.gob.mx/>
- Clement, R. (1995). An introduction to decision analysis. Second edition. E.U.: Duke University, 1995, 24-27 pp. En *Hard decision* (págs. 24-27). E.U.
- Climate, R. M. (2014). What is climate risk management? *Climate Risk Management*, 1-4.
- Dahm, D. F. (2013). *"On the flood and inundation management of Ho Chi Minh City, Vietnam"*. Reino Unido: ICFR:experiences in Asia and Europe.
- DELTAIRES. (2 de mayo de 2015). *Deltares, enabling delta life*. Obtenido de Deltares.nl: <https://www.deltares.nl/en/>
- Frieser. (2004). *"Probabilistic Evacuation Decision Model for River Floods in the Netherlands"*. Delft Holanda: Delft University of Technology Faculty of Civil Engineering and Geosciences.
- Jing-Hong. (2014). Principal aspects regarding to the emergency evacuation of large –scale crowds. A Brief review literature until 2010. *Procedia engineering*, 45-50.
- Kailiponi, P. (2010). Analyzing evacuation decisions using multi-attribute utility theory. *Procedia engineering*, 163-174.
- LIU, Y. (1 de mayo de 2012). Flood Emergency Management Using Hydrodynamic Modelling. *Procedia Engineering* 28, 750-53. Obtenido de Iberaula: <http://www.iberaula.es/web/index.php>
- Llanes. (2012). "El abordaje del estudio del riesgo natural desde la disciplina geográfica". *Comunicaciones. Breves Contribuciones del I.E.G*, 113-128.
- SEGUROS, A. M. (17 de Mayo de 2014). *AMIS*. Recuperado el 17 de Mayo de 2014, de AMIS: <http://www.amis.org.mx/amis/index.html>
- Suarez, B. (2011). Suárez Suárez, B. J. (2011). "Costo más probable de daños por inundación en zonas habitacionales de México". *. Tecnología y Ciencias del agua*, 12., 1-10.
- Tanako, T. (16 de junio de 2012). *BM pide abrir presupuestos a desastres*. Recuperado el 6 de abril de 2014, de CNexpansión: <http://www.cnnexpansion.com/economia/2012/06/16/bm-pide-abrir-presupuestos-a-desastres>
- Tingsanchali, T. (2012). Tingsanchali. Urban flood disaster management. *Procedia Engineering* . *Procedia Engineering*, 25-37.
- Varela, J. (2014). On-board Decision Support System for Ship Flooding. *Procedia Computer Science*, 1688-1700.
- Yang, B. (2012). The research of multi resolution of the emergency evacuation. *Procedia engineering* 29, 3110-3116.

Yazo, O. G. (2014). Diseño de una metodología para el diseño de estudio de casos en situaciones de soprte logístico. *Global Conference on Business and Finance Proceedings*, 878-887.

8°. Coloquio Interdisciplinario de Posgrado, 25 y 26 de junio 2015.

Primer autor-PUBLICADO 3

Un primer acercamiento al problema de decisión en emergencias, mediante tablas de pago: caso práctico aplicado en Tabasco, México.

*Miguel Ángel Balladares Sánchez**

*Beatriz Pico González†,
Anayansi Careta Isordia‡*

Resumen

La aplicación de tablas de pago en un evento de riesgo permite orientar el juicio de los tomadores de decisiones hacia diferentes alternativas de apoyo a la decisión. Se generaron tablas de pago como un primer acercamiento al problema de decisión para evacuar una población en riesgo de inundación; para ello fue necesario calcular los principales costos involucrados en el proceso y determinar las probabilidades. Se aplicaron fórmulas empíricas para obtener los costos del evento en el contexto particular y se determinaron las probabilidades mediante taller de expertos. El estudio se aplicó a un escenario de inundación ocurrido en la ciudad de Villahermosa Tabasco, México. Los resultados muestran que el criterio de Máxima Posibilidad es más sensible a diferentes montos asegurados por fallecimiento de las personas que el criterio de Máximo Valor Monetario Esperado.

Palabras Clave: evacuación, tabla de pago, decisiones, costos

Abstract

The application of pay tables in a risk event can guide the judgment of decision makers to different alternatives to support the decision. Pay tables were generated as a first approach to the problem of decision to evacuate a population at risk of flooding; for this purpose was necessary to calculate the

major costs involved in the process and determine the odds. Empirical formulas were applied for the costs of the event in the particular context and probabilities were determined by expert workshop. The study was applied in a scenario of flood occurred in the city of Villahermosa Tabasco, Mexico. The results show that the Maximum Possibility criterion is more sensitive to different amounts insured by death of people than the criterion of Maximum Expected Monetary Value.

* Estudiante doctoral de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Cunduacán Jalpa Km. 1, Colonia La Esmeralda, 86690 Cunduacán Tabasco, México. Correo: miguel.balladares@ujat.mx

† Profesor Investigador de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla.

Keywords: evacuation, pay table, decisions, costs.

1 Introducción

Las inundaciones ocasionan alrededor del 40% de las pérdidas económicas y vidas humanas estimadas en 40 000 millones de dólares y 250 000 víctimas por año, respectivamente (Llanes, 2012). Solo en Asia, ocurren más de la mitad de las catástrofes relacionadas con inundaciones (Tingsanchali, 2012). Ante esta situación, la toma de decisiones apoyada por modelos es cada vez más importante en situaciones de emergencia (Dahm R., 2013). No obstante, existe una tendencia al aumento de los costos de los desastres y la frecuencia de ocurrencia en escenarios asociados al cambio climático (Climate, 2014). Al respecto, Tanako (2012) refirió que las sociedades con mayor desarrollo sufren mayores pérdidas económicas.

El desplazamiento de población desde una zona de desastre es una respuesta intuitiva y de primera mano que las personas deciden por ellas mismas o con apoyo de las instancias gubernamentales de ayuda, bajo la dirección de un comité intergubernamental. Sin embargo, cuando las variables de los fenómenos evolucionen con el tiempo se generan situaciones de incertidumbre (Clement, 95) para determinar el momento idóneo para iniciar un proceso de evacuación:

- a)** Evacuar con demasiada anticipación, resulta más caro que hacerlo a tiempo. Además, evacuar a las personas y que el evento no se desarrolle tiene consecuencias de orden político y resta credibilidad a los organismos encargados de la ayuda.
- b)** Evacuar en medio de la contingencia resulta en mayores pérdidas y mayor peligro para las personas involucradas.

Dada esta complejidad, se han documentado diversos modelos de apoyo como los que se muestran a groso modo, en la tabla siguiente:

Tabla 1 Modelos de apoyo a las decisiones. Basado en la revisión documental. |

Autor/país	Descripción general
Frieser (2004). Holanda	Aplica decisiones secuenciales mediante árboles de decisión. El caso de estudio se centra en desbordamiento de diques en Holanda. El método que utiliza para la evaluación de costos es el <i>método estándar</i>. Las probabilidades que utiliza para alimentar los árboles de decisión se obtienen de la <i>probabilidad de falla</i> de los diques. Los costos tangibles directos los deduce el autor a partir de indemnizaciones gubernamentales recibida por las familias afectadas. Se demuestra mediante el estudio de caso, que los costos tangibles directos integrados por los costos de evacuación y los costos por daños, varían de forma diferente con el tiempo. Este comportamiento y las consecuencias sociales de evacuaciones fallidas permite plantear un modelo que sugiere tres cursos de acción: a) Evacuar de forma inmediata b) No evacuar c) Retardar la evacuación hasta obtener mayor información
(Yang, 2012) China	Aplica la teoría de sistemas complejos y presenta dos tipos de modelo para la simulación de la evacuación peatonal como apoyo a la toma de decisiones. Uno de los modelos se basa en marco de trabajo Multi-agente y un algoritmo PSO modificado. El otro se basa en las ecuaciones de Euler sobre la dinámica de fluidos. El estudio de caso de la simulación de flujo peatonal se desarrolla en Optical Valley Plaza
(Kailiponi, 2010)	Modelo de decisión basado en ERGO (Evacuation Responsiveness by Government Organizations). Participan en el desarrollo y la validación de este proyecto, siete países de la unión Europea y Japón. La tesis principal de este trabajo afirma que la toma de decisiones durante una emergencia implica resolver objetivos en conflicto y manejar altos niveles de incertidumbre. Argumenta que la teoría MAUT provee un marco de trabajo adecuado para la toma de decisiones en casos de desastres. Muestra, mediante resultados, cómo un pronóstico poco preciso puede afectar la toma de decisiones. La consecuencia de cualquier decisión tomada está determinada no sólo por la función objetivo, sino también por una función de probabilidad de factores exógenos. El modelo define seis objetivos preliminares y sus atributos para la toma de decisiones en

UK	evacuación. El modelo establece tres posibles cursos de acción para los decisores: e) No actuar f) Difundir el peligro g) Ordenar una evacuación leve h) Ordenar una evacuación con urgencia El modelo confirma que los costos derivados de la muerte de personas tienen un peso importante en las decisiones. De entrada se establecen los objetivos a evaluar en un proceso de evacuación.
(Varela, 2014) Portugal	Aborda la aplicación de un modelo de soporte a la toma de decisiones en casos de hundimiento de un barco de pasajeros. Utiliza como herramienta un algoritmo altamente optimizado que posee dos módulos: <i>el Módulo de entorno virtual y el Módulo de inundación progresiva</i>. Ambos módulos trabajan en tiempo real aplicando el principio de arquitectura de cómputo distribuida. Las funciones principales del modelo son: 4. Identificación de zonas de riesgo. 5. Localización de compartimientos aislados 6. Identificación de rutas de evacuación

Ante la relevancia que tiene para el desarrollo de los países, mitigar los efectos de las inundaciones, se han desarrollado diversos modelos en diferentes ámbitos, con diversos grados de sofisticación y atención a necesidades variadas en contextos particulares. Tal sofisticación depende del número de variables involucradas en el fenómeno estudiado y en la información disponible.

Un enfoque más congruente con la realidad mexicana y los países en desarrollo, daría cabida a la posibilidad de considerar el problema de las inundaciones como un sistema complejo (García, 2000), en donde los modelos de apoyo a las decisiones, operan y evolucionan de forma similar a la construcción del conocimiento, pudiéndose clasificar en modelos intra, inter y trans (García, 2011); cada uno con un grado de sofisticación acorde al contexto.

En este sentido, cobra importancia la propuesta de aplicar herramientas sencillas para acercamientos preliminares al problema de decisión, cuando los sistemas de información son precarios o limitados.

Este trabajo explora el uso de las tablas de pago para apoyar a los comités intergubernamentales de decisiones en países en desarrollo, poniendo en perspectiva los aspectos generales de problema de decisión como un primer acercamiento. Se pretende, mediante un estudio de caso, mostrar la utilidad de estas herramientas usando como insumos los costos principales de un evento y las probabilidades de ocurrencia establecidas mediante taller de expertos.

Hipótesis: es factible aplicar tablas de pago como apoyo preliminar en decisiones bajo riesgo para determinar el inicio o no de un proceso de evacuación o en su defecto, optar por otros métodos de apoyo.

2 Desarrollo de la teoría

Los estudios sobre evacuación de gran escala, se han desarrollado desde cuatro enfoques diferentes: las teorías de la evacuación, el modelado de la evacuación, la toma de decisiones en evacuación y la evaluación de riesgos durante la evacuación (Jing-Hong, 2010). En este ámbito, la logística humanitaria ha aportado diferentes modelos para resolver, en casos de desastres, lo relativo a: alertas, establecimiento de rutas seguras para la evacuación y el suministro, optimización de los tiempos de entrega de suministros básicos como alimento y medicinas, la asignación de albergues, optimización de tiempos de evacuación, minimización de costos de apertura de albergues, entre otros (Gaytán, 2012).

La determinación de los costos tangibles directos de una inundación considera los daños ocasionados por el contacto de personas, infraestructura, bienes muebles, ganado, etc. con el agua y los costos tangibles indirectos se derivan de la interrupción de actividades económicas por el evento, de los procesos de evacuación, de la interrupción de servicios públicos, entre otros (Suarez, 2011). Al respecto, se reconocen tres metodologías para evaluar los costos tangibles directos: método de evaluación directa, métodos conceptuales y el análisis de vulnerabilidad.

Otros métodos como las curvas F-N y F-D asocian el número de personas afectadas por un evento y los daños ocasionados por esta afectación en función de la probabilidad de ocurrencia del fenómeno en estudio (Escuder-Bueno, 2012). No obstante, se ha aplicado evaluación directa para estimar costos de evacuación en modelos probabilísticos de toma de decisiones en procesos de evacuación por desbordamiento de diques en Holanda (Frieser, 2004).

La estimación de las probabilidades de ocurrencia de un evento es básica para alimentar modelos probabilísticos, aunque no parece indispensable para generar una tabla de pagos para

casos de decisiones bajo incertidumbre; no obstante, ésta puede evaluarse mediante modelos o con el apoyo de expertos (Serrano, 2011). Al respecto la ANCOLD, recomienda este medio y utiliza para ello tablas de aproximación para determinar la probabilidad de ocurrencia (ANCOLD, 2003).

3 Materiales y métodos

Se consideró el escenario de inundación descrito en el apartado 2.1 y se aplicaron las fórmulas planteadas en la sección 2.2, estimándose los costos hasta tres días previos a un evento de inundación de una zona urbana por excedentes de lluvia. Los datos generales y los criterios asumidos se plantean en la tabla No. 1. Se considera un patrón de evacuación mostrados por la tabla No. 2 y la figura No. 3.

Para determinar la probabilidad de desbordamiento, se aplicó un taller de expertos aplicando las tablas desarrolladas por la ANCOLD.

3.1 Zona de estudio, escenario de inundación y rutas de evacuación

La zona de estudio y el escenario de inundación se ubican en el Centro Histórico de la Ciudad de Villahermosa Tabasco, México. El último se genera por excedentes de lluvia; se asocia a un periodo de retorno de dos años ($Tr = 0.5$); esto significa que por lo menos cada dos años éste se repite bajo condiciones similares (Aparicio, 1992), registrándose la última de ellas el mes de diciembre de 2013 a raíz del frente frío No. 20 (Barboza, 2013). En esta área inundable viven alrededor de 3,427 personas (Centro, 2009). Para efectos de aplicar el modelo se consideró la evacuación del 80% de la población afectada (2,742 personas) de acuerdo a la respuesta indicada en la curva de evacuación respectiva (CEPC-Tabasco, 2014). Esta zona de afectación está

clasificada en el Atlas de Riesgo del Municipio del Centro como de peligro alto dado que los niveles sobre el nivel del mar oscilan entre 3.79 y 5.59m. (Centro, 2009).

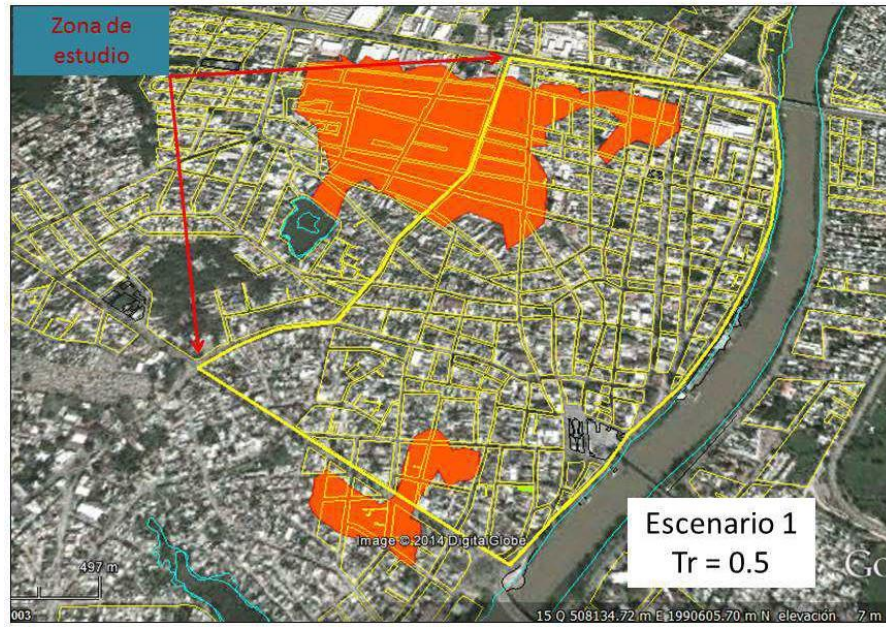


Figura 1 Zona de estudio y área de inundación (marcado en color naranja)

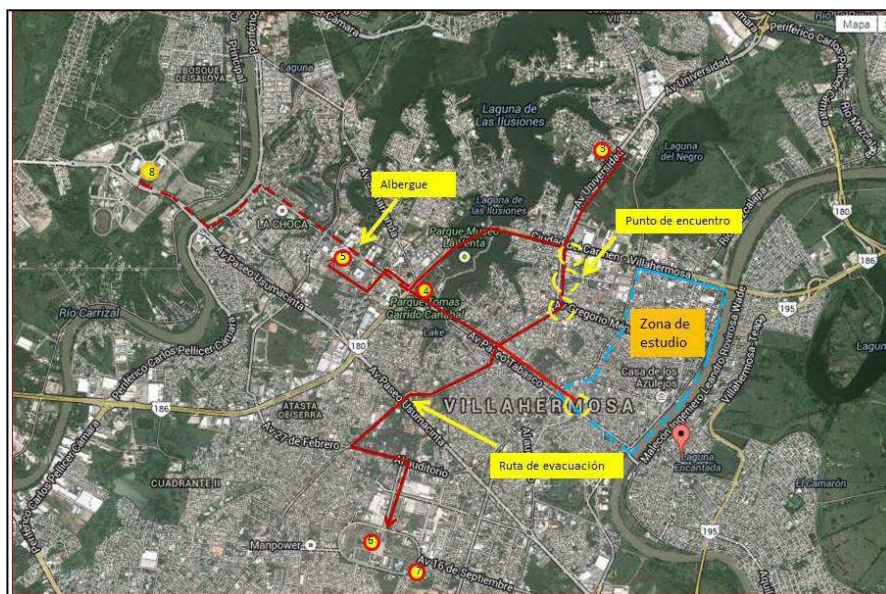


Figura 2 Rutas de evacuación

3.2 Estimación de costos

Se aplicaron dos fórmulas generales generadas a partir de las ecuaciones de Freiser (2004) con ciertas adecuaciones al contexto particular. Se consideran dos tipos de costos importantes para aplicar la propuesta: los costos totales por evacuación (\$ CTE) y los costos totales por daños (\$ CTD).

Los costos totales de evacuación (\$ CTE) dependen de número de personas evacuadas de acuerdo al escenario, el tipo de transporte usado para el traslado, la distancia entre los puntos o sitios del desastre y los albergues, el número de días que las personas permanecen albergadas o separadas de sus viviendas, la manutención de las personas albergadas, la cantidad de personal asignado para la logística del traslado y vigilancia en la zona afectada y personal de apoyo en los albergues para control.

$$\text{\$ CTE} = \text{\$ DR} + \text{\$ M} + \text{\$ L} \quad (1)$$

Donde:

\$ CTE = Costos Totales de Evacuación

\$ DR = Costos Desalojo-Retorno

\$ M = Costos de Manutención

\$ L = Costos de Logística

$$\text{\$ DR} = \text{TPD} / \text{CT} * 4 \text{DMA} * \text{\$ KMR} \quad (2)$$

TPD = Total de Personas Desalojadas y albergadas

CT=Capacidad del Transporte

DMA= Distancia Media entre Albergues y puntos de encuentro de la zona en km

\$ KMR= Costo por Km. Recorrido

$$\text{\$ M} = \text{\$ AD} * \text{TPD} * \text{ND} \quad (3)$$

\$ AD= Alimentación Diaria/Persona

TPD = Total de Personas Desalojadas y Albergadas

ND = Número de días entre la evacuación y el evento + 3

$$\text{\$ L} = \text{SMD} * \text{NA} / 20 * \text{ND} \quad (4)$$

\$ SMD= Salario Medio /Día

NA = No. De afectados

Es importante destacar que a la asignación de los días entre la evacuación y la ocurrencia del evento, se agregaron tres días adicionales considerando el proceso de recuperación post evento.

En la integración de los Costos totales por daños a diferencia de la consideración del número de personas desalojadas (TPD) considerados en los Costos totales por Evacuación, en esta fórmula considera a la población total afectada (NA); aclarando que este último número es mayor al primero. La razón de esta consideración es la siguiente: en caso de darse un evento extraordinario como el que se analiza en esta investigación, en las evacuaciones de lento desarrollo, una gran cantidad de personas emigran o se trasladan de forma independiente hacia lugares seguros (CEPC-Tabasco, 2014).

$$\text{\$ CTD} = 0.01 * \% \text{ NED} * \text{NA} * \text{\$ VED} \quad (5)$$

Donde:

NED =No Evacuados/Día

NA = Número de Afectados

\$ VED = Valor Económico por Deceso

En la integración de la fórmula anterior, se considera solamente el monto que pudiera generarse de las posibles víctimas mortales de un proceso de evacuación. Se da por hecho que una evacuación tardía implica mayores riesgos. De acuerdo a Frieser (2004), se considera que el 1% de la población no evacuada, independientemente de las razones, está en riesgo de perecer por diferentes causas: ahogamiento, paro cardíaco, etc.

En la asignación del valor económico por deceso, se consideraron los montos establecidos por la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros (AMIS) (SEGUROS, 2014). El criterio asumido establece como valor por deceso el monto medio asegurado en México, por persona, como protección contra fallecimiento.

Finalmente, los valores NED (No evacuados por día) para aplicar la fórmula 5, se toman de la curva de evacuación respectiva. Dicha curva describe la evolución del número de personas evacuadas por día en caso del establecimiento de los protocolos de actuación. Es de esperarse que cada población responda de forma diferente a un evento pues intervienen aspectos como: tipo de terreno, medio de evacuación, número de habitantes, efectividad de los medios de comunicación, resiliencia de la población, etc.

La aplicación de las fórmulas descritas en la sección 2.2, requirió de datos generales mostrados en la tabla No. 1 así como los datos aportados por la curva de evacuación del evento mostrada en la figura No. 3 la cual se deriva de la tabla No.2. La evolución de los costos se muestra en las tablas No.3 y 4 y la figura No. 4.

DATOS GENERALES			COSTOS BASE		
Concepto	Valor	Fuente	Concepto	Valor	Fuente
Población afectada (Hab) (NA)	3427	Atlas 2013, Protección Civil	Costo alimentación /dia/persona (\$ AD)	\$120.00	CENAPRED
Población Desalojada/Albergada (Hab) (TPDA)	2742	Atlas 2013, Protección Civil	Salario medio/dia/persona (\$ SMD)	\$220.00	Análisis de Salario Real
Capacidad del medio de transporte (personas por unidad) (CT)	15	SEDENA	Costo medio por km recorrido de transporte (\$KMR) = (\$400.00/60)	\$6.66	SEDENA
Distancia media entre albergues y puntos de encuentro (Km.) (DMA)	3.9	Definido a partir del escenario	Factor para definir costo por km recorrido	(1/60)	Criterio
Factor para definir personal de logística	(1/20)	SEDENA	Valor económico por deceso (\$ VED)	\$ 374, 000.00	AMIS

Figura 2 Datos básicos generados del escenario

Tabla 2 Respuesta de la población al proceso de evacuación considerada para el escenario

Día	% Evacuados	% No evacuados
3	94	6
2	84	16
1	73	27
0	0	100



Figura 3 Curva de evacuación para el escenario

Tabla 3 Costos totales por Evacuación (\$ CTE) para tres días antes del evento considerando la evacuación de 3,427 personas

Día	\$ Desalojo/ retorno	\$ Manutención	\$ Logística	\$CTE	\$CTE (millones)
3	\$ 19,011.20	\$ 1,974,240.00	\$ 226,182.00	\$ 2,219,433.20	\$ 2.22
2	\$19,011.20	\$ 1,645,200.00	\$ 188,485.00	\$ 1,852,696.20	\$ 1.85
1	\$19,011.20	\$ 1,316,160.00	\$ 150,788.00	\$ 1,485,959.20	\$ 1.49
0	\$19,011.20	\$ 987,120.00	\$ 113,091.00	\$ 1,119,222.20	\$ 1.12

Tabla 4 Costos por Daños (\$ CTD) para tres días, considerando \$ 200,000.00 como Monto asegurado por fallecimiento

Día	Desalojados	Pob. Total	No Evacuados	\$CTD	\$CTD (millones)
3	94%	3,427	205	\$ 411,240.00	\$ 0.41
2	84%	3,427	548	\$ 1,096,640.00	\$ 1.10
1	73%	3,427	925	\$ 1,850,580.00	\$ 1.85
0	0%	3,427	3,427	\$ 6,854,000.00	\$ 6.85

Tabla 5 Costos por Daños (\$ CTD) para tres días, considerando \$ 350,000.00 como Monto asegurado por fallecimiento

Día	Desalojados	Pob. Total	No Evacuados	\$CTD	\$CTD (millones)
3	94%	3,427	205.62	\$ 719,670.00	\$ 0.72
2	84%	3,427	548.32	\$ 1,919,120.00	\$ 1.92
1	73%	3,427	925.29	\$ 3,238,515.00	\$ 3.24
0	0%	3,427	3427	\$11,994,500.00	\$ 11.99

Tabla 6 Costos por Daños (\$ CTD) para tres días, considerando \$ 374,000.00 como Monto asegurado por fallecimiento

Día	Desalojados	Pob. Total	No Evacuados	\$CTD	\$CTD (millones)
3	94%	3427	205.62	\$ 769,018.80	\$ 0.77
2	84%	3427	548.32	\$2,050,716.80	\$ 2.05
1	73%	3427	925.29	\$3,460,584.60	\$ 3.46
0	0%	3427	3427	\$12,816,980.00	\$ 12.82

3.3 Asignación de probabilidades

En el caso que se analiza, se realizó un taller de expertos para aproximar la probabilidad de inundación de la zona de interés. Se hizo el ejercicio para tres días previos al posible suceso.

Tabla 7 Probabilidad asignada por expertos para tres días antes del evento

	Respuesta	Probabilidad Asignada
Experto1	Muy probable	0.99
Experto2	Probable	0.9
Experto3	Probable	0.9
Experto4	Neutro	0.5
Experto5	Probable	0.9
Experto6	Muy probable	0.99
Experto7	Muy improbable	0.01
Experto8	Improbable	0.1
Experto9	Muy probable	0.99
Experto10	Improbable	0.1
Experto11	Improbable	0.1
Experto12	Improbable	0.1

Media **0.548333333**

De acuerdo a la probabilidad media mostrada en la tabla 5, existe una probabilidad superior a la media de que se presente una inundación en la zona de interés.

3.4 Acercamiento al problema mediante la aplicación de las tablas de pago: criterios

de Máxima Posibilidad y Máximo Valor Monetario Esperado

3.4.1 Análisis para tres días previos al evento: En las tablas siguientes se muestran los valores calculados para tres días antes del suceso y tres diferentes montos asegurados

Tabla 8 Aplicación del criterio de Máxima Posibilidad para \$ CTE (3 días antes) y un Monto asegurado de \$ 200,000.00, tres días antes del suceso

Alternativa/Estado de la naturaleza	Se inunda	No se inunda
Actuar	-2.22	-2.22
No actuar	-0.41	0
Probabilidad a priori	0.54	0.46

De acuerdo a este criterio de Máxima Posibilidad: la decisión es no actuar, dado que se tienen menores pérdidas por no actuar.

Tabla 9 Aplicación del criterio de Máxima Posibilidad para \$ CTE (3 días antes) y un Monto asegurado de \$ 350,000.00, tres días antes del suceso

Alternativa/Estado de la naturaleza	Se inunda	No se inunda
Actuar	-2.22	-2.22
No actuar	-0.72	0
Probabilidad a priori	0.54	0.46

De acuerdo a este criterio de Máxima Posibilidad: la decisión es no actuar, dado que se tienen menores pérdidas por no actuar.

Tabla 10 Aplicación del criterio de Máxima Posibilidad para \$ CTE (3 días antes) y un Monto asegurado de \$

374,000.00, tres días antes del suceso

Alternativa/Estado de la naturaleza	Se inunda	No se inunda
Actuar	-2.22	-2.22
No actuar	-0.77	0
Probabilidad a priori	0.54	0.46

De acuerdo a este criterio de Máxima Posibilidad: la decisión es no actuar, dado que se tienen menores pérdidas por no actuar.

Tabla 11 Aplicación del criterio de Máximo Valor Monetario Esperado para \$ CTE (3 días antes) y un Monto

asegurado de \$ 200,000.00, tres días antes del suceso

Alternativa/Estado de la naturaleza	Se inunda	No se inunda
Actuar	-2.22	-2.22
No actuar	-0.41	0
Probabilidad a priori	0.54	0.46

$$(-2.22 \cdot 0.54) + (-2.22 \cdot 0.46) = -2.22$$

$$(-0.41 \cdot 0.54) + (0 \cdot 0.46) = -0.22$$

De acuerdo a este criterio, la decisión es no actuar dado que se tienen menores pérdidas económicas.

Tabla 12 Aplicación del criterio de Máximo Valor Monetario Esperado para \$ CTE (3 días antes) y un Monto

asegurado de \$ 350,000.00, tres días antes del suceso

Alternativa/Estado de la naturaleza	Se inunda	No se inunda
Actuar	-2.22	-2.22
No actuar	-0.71	0
Probabilidad a priori	0.54	0.46

$$(-2.22*0.54) + (-2.22*0.46) = -2.22$$

$$(-0.71*0.54) + (0*0.46) = -0.38$$

De acuerdo a este criterio, la decisión es no actuar dado que se tienen menores pérdidas económicas.

Tabla 13 Aplicación del criterio de Máximo Valor Monetario Esperado para \$ CTE (3 días antes) y un Monto

asegurado de \$ 374,000.00, tres días antes del suceso

Alternativa/Estado de la naturaleza	Se inunda	No se inunda
Actuar	-2.22	-2.22
No actuar	-0.77	0
Probabilidad a priori	0.54	0.46

$$(-2.22*0.54) + (-2.22*0.46) = -2.22$$

$$(-0.77*0.54) + (0*0.46) = -0.41$$

De acuerdo a este criterio, la decisión es no actuar dado que se tienen menores pérdidas económicas.

2.4.2 Análisis para dos días previos al evento: En las tablas siguientes se muestran los valores calculados para dos días antes del suceso y tres diferentes montos asegurados

Tabla 14 Aplicación del criterio de Máxima Posibilidad para \$ CTE (2 días antes) y un Monto asegurado de \$ 200,000.00, tres días antes del suceso

Alternativa/Estado de la naturaleza	Se inunda	No se inunda
Actuar	-1.85	-1.85
No actuar	-1.10	0
Probabilidad a priori	0.54	0.46

De acuerdo a este criterio de Máxima Posibilidad: la decisión es no actuar, dado que se tienen menores pérdidas por no actuar.

Tabla 15 Aplicación del criterio de Máxima Posibilidad para \$ CTE (2 días antes) y un Monto asegurado de \$ 350,000.00, tres días antes del suceso

Alternativa/Estado de la naturaleza	Se inunda	No se inunda
Actuar	-1.85	-1.85
No actuar	-1.92	0
Probabilidad a priori	0.54	0.46

De acuerdo a este criterio de Máxima Posibilidad: la decisión es actuar, dado que se tienen menores pérdidas por actuar.

Tabla 16 Aplicación del criterio de Máxima Posibilidad para \$ CTE (2 días antes) y un Monto asegurado de \$

374,000.00, tres días antes del suceso

Alternativa/Estado de la naturaleza	Se inunda	No se inunda
Actuar	-1.85	-1.85
No actuar	-2.05	0
Probabilidad a priori	0.54	0.46

De acuerdo a este criterio de Máxima Posibilidad: la decisión es actuar, dado que se tienen menores pérdidas por actuar.

Tabla 17 Aplicación del criterio de Máximo Valor Monetario Esperado para \$ CTE (2 días antes) y un Monto

asegurado de \$ 200,000.00, tres días antes del suceso

Alternativa/Estado de la naturaleza	Se inunda	No se inunda
Actuar	-1.85	-1.85
No actuar	-1.10	0
Probabilidad a priori	0.54	0.46

$$(-1.85 \cdot 0.54) + (-1.85 \cdot 0.46) = -1.85$$

$$(-1.10 \cdot 0.54) + (0 \cdot 0.46) = -0.59$$

De acuerdo a este criterio, la decisión es no actuar dado que se tienen menores pérdidas económicas.

Tabla 18 Aplicación del criterio de Máximo Valor Monetario Esperado para \$ CTE (2 días antes) y un Monto

asegurado de \$ 350,000.00, tres días antes del suceso

Alternativa/Estado de la naturaleza	Se inunda	No se inunda
Actuar	-1.85	-1.85
No actuar	-1.92	0
Probabilidad a priori	0.54	0.46

$$(-1.85 \cdot 0.54) + (-1.85 \cdot 0.46) = -1.85$$

$$(-1.92 \cdot 0.54) + (0 \cdot 0.46) = -1.03$$

De acuerdo a este criterio, la decisión es no actuar dado que se tienen menores pérdidas económicas.

Tabla 19 Aplicación del criterio de Máximo Valor Monetario Esperado para \$ CTE (2 días antes) y un Monto

asegurado de \$ 374,000.00, tres días antes del suceso

Alternativa/Estado de la naturaleza	Se inunda	No se inunda
Actuar	-1.85	-1.85
No actuar	-2.05	0
Probabilidad a priori	0.54	0.46

$$(-1.85 \cdot 0.54) + (-1.85 \cdot 0.46) = -1.85$$

$$(-2.05 \cdot 0.54) + (0 \cdot 0.46) = -1.07$$

De acuerdo a este criterio, la decisión es no actuar dado que se tienen menores pérdidas económicas.

En resumen, si se operan los dos criterios desde el día tres hasta el día uno y tres montos asegurados, los resultados se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 20 Se muestran los resultados: Si actuar o No actuar de acuerdo al criterio de optimización de recursos económicos, para tres días previos al evento y tres montos asegurados

Criterio	Monto asegurado			Monto asegurado			Monto asegurado		
	\$ 200,000.00			\$350,000.00			\$ 374,000.0		
Máxima Posibilidad	3 No	2 No	1 Si	3 No	2 Si	1 Si	3 No	2 Si	1 Si
Máximo Valor	No	No	No	No	No	Si	No	No	Si

Si bien la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros (AMIS), estima en \$374,000.00 el monto medio asegurado por fallecimiento en México (SEGUROS, 2014) se consideraron dos montos asegurados más, que son menores en valor para ofrecer a los decisores diferentes panoramas de acuerdo al nivel socio económico de la población en cuestión.

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla 21, se observa que el método de Máxima Posibilidad es más sensible a los montos establecidos por fallecimiento. Por el contrario, el criterio de Máximo Valor Monetario Esperado, es menos sensible al factor económico, incluso, si se considera que una evacuación en el día 1, implica mayor riesgo de pérdidas humanas entre el 27 % de personas no evacuadas (figura 3) en caso de darse el suceso.

Es importante reconocer que la visión de análisis es estática desde tres antes del suceso, no obstante, se pueden analizar horizontes más amplios y apuntalar el análisis con otras herramientas como los árboles de decisión propuestos por Clement (1995).

Con los resultados obtenidos se evidencia la utilidad de las tablas de pago, por lo menos en dos criterios muy sencillos, para acercar a los comités de decisión hacia otras herramientas de análisis y quizá de mayor sofisticación. En este punto resulta interesante apuntar que, de acuerdo a Jing-Hong et al (2014), hay poca claridad de resultados al intentar analizar exhaustivamente todos los factores que pudieran influir durante una evacuación mediante un solo modelo, y si se considera que la mayoría de las aportaciones se orientan de acuerdo al criterio de los autores (Yazo, 2014), se vislumbra pertinente adaptar la metodología que mejor se comprenda desde la perspectiva y las herramientas de apoyo con que cuenten los decisores.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados mostrados mediante el caso de aplicación, resulta factible acercarse al problema de decisión en casos de emergencias por inundación, aplicando tablas de pago, orientando la toma de decisiones hacia el uso de otras herramientas de análisis. Se concluye que el criterio de Máxima Posibilidad es más sensible, para este caso, que el de Máximo Valor Monetario Esperado.

A partir del presente trabajo, se abre la posibilidad de incursionar en otros criterios de análisis mediante tablas de pago.

Referencias

- ANCOLD. (2003). *AUSTRALIAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS (ANCOLD): INCORPORATED GUIDELINES ON RISK ASSESSMENT*. AUSTRALIA.
- APARICIO, F. (1992). *EN FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE (PÁGS. 249-251)*. MÉXICO: LIMUSA. (PÁGS. 249-251). MÉXICO D.F.: LIMUSA.
- BARBOZA, R. (26 DE DICIEMBRE DE 2013). *EL UNIVERSAL.COM*. RECUPERADO EL 12 DE MAYO DE 2014, DE EL UNIVERSAL.COM: [HTTP://WWW.ELUNIVERSAL.COM.MX/ESTADOS/2013/TABASCO-SE-INUNDA-OTRA-VEZ-975341.HTML](http://www.eluniversal.com.mx/estados/2013/tabasco-se-inunda-otra-vez-975341.html).
- CENTRO, M. D. (10 DE OCTUBRE DE 2009). *ATLAS DE RIESGO DEL MUNICIPIO DEL CENTRO*. VILLAHERMOSA: SEDESOL. RECUPERADO EL 10 DE OCTUBRE DE 2013, DE VILLAHERMOSA.GOB.MX: [WWW.VILLAHERMOSA.GOB.MX/PROTEC_CIVIL/ATLAS_DE_RIESGO.PD](http://www.villahermosa.gob.mx/protec_civil/atlas_de_riesgo.pdf)
- CEPC-TABASCO. (8 DE FEBRERO DE 2014). *PROTECCIÓN CIVIL TABASCO*. RECUPERADO EL 2 DE FEBRERO DE 2014, DE PROTECCION CIVIL TABASCO: [HTTP://PROTECCIONCIVIL.TABASCO.GOB.MX/](http://proteccioncivil.tabasco.gob.mx/)
- CLEMENT, R. (1995). *AN INTRODUCTION TO DECISION ANALYSIS. SECONDE EDITION*. E.U.: DUKE UNIVERSITY, 1995, 24-27 PP. EN *HARD DECISION* (PÁGS. 24-27). E.U.
- CLIMATE, R. M. (2014). *WHAT IS CLIMATE RISK MANAGEMENT? CLIMATE RISK MANAGEMENT*, 1-4.
- DAHM R., D. F. (2013). *"ON THE FLOOD AND INUNDATION MANAGEMENT OF HO CHI MINH CITY, VIETNAM"*.

REINO UNIDO: ICFR:EXPERIENCES IN ASIA AND EUROPE.

ESCUDE-BUENO. (2012). *A QUANTITATIVE FLOOD RISK ANALYSIS METHODOLOGY FOR URBAN AREAS WITH.*

NATURAL HAZARDS AND EARTHS SYTEMS SCIENCES, 2843-2863.

FRIESER. (2004). *"PROBABILISTIC EVACUATION DECISION MODEL FOR RIVER FLOODS IN THE NETHERLANDS"*. DELFT
HOLANDA: DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND GEOSCIENCES.

GARCÍA, R. (2000). *EL CONOCIMIENTO EN CONSTRUCCIÓN*. MÉXICO: GEDISA. 252 PP

GARCÍA, R. (2011). *INTERDISCIPLINARIEDAD Y SISTEMAS COMPLEJOS*. REVISTA LATINOAMERICANA DE METODOLOGÍA DE
LAS CIENCIAS SOCIALES VOL 1 NO. 1: 66-101.

GAYTÁN, I. P. (2012). *"UN MODELO BI-CRITERIO PARA LA UBICACIÓN DE ALBERGUES COMO PARTE DE UN PLAN DE
EVACUACIÓN EN CASO DE INUNDACIONES"*. REVISTA INGENIERÍA INDUSTRIAL, 35-56.

JING-HONG. (2014). *PRINCIPALS ASPECTS REGARDING TO THE EMERGENCY EVACUATION OF LARGE-SCALE CROWDS: A
BRIEF REVIEW OF LITERARTURES UNTIL 2010*. PROCEDIA ENGINEERING, 1-6.

KAILIPONI, P. (2010). *ANALYZING EVACUATION DECISIONS USING MULTI-ATTRIBUTE UTILITY THEORY*. PROCEDIA
ENGINEERING, 163-174.

LIU, Y. (1 DE MAYO DE 2012). *FLOOD EMERGENCY MANAGEMENT USING HYDRODYNAMIC MODELLING*. PROCEDIA
ENGINEERING 28, 750-53. OBTENIDO DE IBERAULA: [HTTP://WWW.IBERAULA.ES/WEB/INDEX.PHP](http://www.iberaula.es/web/index.php)

LLANES. (2012). *"EL ABORDAJE DEL ESTUDIO DEL RIESGO NATURAL DESDE LA DISCIPLINA GEOGRÁFICA"*. COMUNICACIONES.
BREVES CONTRIBUCIONES DEL I.E.G, 113-128.

SEGUROS, A. M. (17 DE MAYO DE 2014). *AMIS*. RECUPERADO EL 17 DE MAYO DE 2014, DE
AMIS: [HTTP://WWW.AMIS.ORG.MX/AMIS/INDEX.HTML](http://www.amis.org.mx/amis/index.html)

SERRANO, L. (2011). *DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA COMPLETA DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS EN
SEGURIDAD DE PRESAS*. ESPAÑA: TESIS.

SUAREZ, B. (2011). SUÁREZ SUÁREZ, B. J. (2011). *"COSTO MÁS PROBABLE DE DAÑOS POR INUNDACIÓN EN ZONAS
HABITACIONALES DE MÉXICO"*. TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DEL AGUA, 12., 1-10.

TANAKO, T. (16 DE JUNIO DE 2012). *BM PIDE ABRIR PRESUPUESTOS A DESASTRES*. RECUPERADO EL 6 DE ABRIL DE 2014,
DE CNEXPANSIÓN: [HTTP://WWW.CNNEXPANSION.COM/ECONOMIA/2012/06/16/BM- PIDE-ABRIR-
PRESUPUESTOS-A-DESASTRES](http://www.cnnexpansion.com/economia/2012/06/16/bm-pide-abrir-presupuestos-a-desastres)

TINGSANCHALI, T. (2012). *TINGSANCHALI. URBAN FLOOD DISASTER MANAGEMENT*. PROCEDIA ENGINEERING. PROCEDIA
ENGINEERING, 25-37.

- VARELA, J. (2014). *ON-BOARD DECISION SUPPORT SYSTEM FOR SHIP FLOODING*. *PROCEDIA COMPUTER SCIENCE*, 1688-1700.
- YANG, B. (2012). *THE RESEARCH OF MULTI RESOLUTION OF THE EMERGENCY EVACUATION*. *PROCEDIA ENGINEERING* 29, 3110-3116.
- YAZO, O. G. (2014). *DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE ESTUDIO DE CASOS EN SITUACIONES DE SOPORTE LOGÍSTICO*. *GLOBAL CONFERENCE ON BUSINESS AND FINANCE PROCEEDINGS*, 878-887.

CO autor-PUBLICADO 1

El *coaching* ontológico: un modelo para el desarrollo de las PyME's del Sector de la Construcción en México.

**Ernesto Rodríguez Moguel, Beatriz Pico González, Miguel Balladares
Sánchez, Juan Ramírez Marroquín, Eduardo Olivares Pérez.**

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

ingemoguel@hotmail.com

Resumen

El propósito de esta investigación es desarrollar un modelo explicativo del desarrollo sostenido de las PyME's del sector de Servicios de la Construcción en México, a partir de la integración de elementos del coaching ontológico a la planeación estratégica de la organización. Se explica el modelo y se obtienen conclusiones parciales de el efecto que pudiera ocasionar.

Palabras clave

Coaching ontológico, Planeación estratégica, Desarrollo sostenido, sector servicios de la construcción, México.

Abstract

The purpose of this research is to develop an explanatory model of sustainable development of SME's the Building Services industry in Mexico, from the integration of elements of ontological coaching to strategic planning of the organization. The model is explained and partial findings of the effects that might result are obtained.

Keywords

Ontological coaching, strategic planning, sustainable development, the construction services sector, Mexico.

Introducción

Los modelos de organización, gestión y dirección de las empresas se han modificado notablemente debido a que en la época actual, prevalecen constantes cambios políticos, sociales, culturales y tecnológicos (De Carvalho 2012); donde el sector de la construcción ha quedado rezagado en este aspecto (Martín y González, 2011).

El Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), La Unión Europea (UE) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), coinciden en señalar como objetivo estratégico el aumento en la competitividad de la PyME, para lo cual han formulado una serie de programas y acuerdos; corroborando con esto la importancia que tiene este tópico para el desarrollo de las naciones (Saavedra, 2012).

Debido al entorno de intensa competencia que viven las empresas se ven obligadas a mantener, incluso aumentar, la participación en el mercado, por medio de una constante innovación de productos y procesos de producción, así como de sistemas de producción flexible, para responder rápidamente a los cambios en el entorno, poniendo mayor énfasis en la reducción de costos y en el aumento de la productividad, la búsqueda permanente de nichos de mercado y el impulso a la mano de obra calificada; todo ello, con el afán de insertarse al mercado global (Cervantes, 2005 citado por Saavedra, 2012).

Es importante que las empresas retomen el concepto del ser humano como el valor más importante que poseen, puesto que la clave de toda gestión radica en la gente (Contreras y Amador, 2009; Valenzuela y Molina, 2013; Hitt et al, 2013).

En las regiones de Latinoamérica, Centroamérica y el Caribe las organizaciones enfrentan oportunidades de mejora en la gestión de capital humano ya que se han focalizado sólo en la obtención de resultados y no en una gestión eficiente de recursos. Las deficiencias de esta gestión se ven reflejadas en las brechas de competitividad de las organizaciones, trayendo como consecuencias que unas sean modelo a seguir y otras queden en el olvido (Hernández et al, 2010).

Una de las propuestas de los últimos tiempos que ayudan a perfeccionar esta gestión y a responder a las necesidades actuales de las empresas, además de atender al ser humano, es el *coaching*; la cual se ha considerado una potencial herramienta para alcanzar resultados extraordinarios (Menéndez, 2011). El hecho de que el *coaching* tenga un componente esencialmente humano es lo que hace que funcione (Sherman & Freas, 2004).

REVISIÓN DE LITERATURA

1. El *coaching*, una herramienta de gestión.

El *coaching* no es un concepto nuevo; según Menéndez (2011), el primer *coach* de la historia fue Sócrates puesto que él afirmaba que no existía el enseñar, sino sólo el aprender, y despertaba en sus discípulos una conciencia clara de sus carencias para impulsar a cuestionarse a sí mismos, encontrando así las respuestas.

La segunda aparición del *coaching*, anota Dolan (2012), fue en los años 70, cuando Timothy Gallwey se dio cuenta que la mente era el peor enemigo de un deportista y por esta razón decidió desarrollar una serie de libros para ayudarlos a superar este problema y obtener un mayor rendimiento.

Este nuevo método dio resultados positivos desde sus inicios; a partir de ese momento muchas escuelas de deportes comenzaron a ocupar el *coaching*, que en este caso lo llamaban *Inner Game*. Timothy Gallwey jugó un papel muy importante, ya que después de un tiempo logro adaptar este método a las empresas inglesas y dio origen al *coaching* empresarial (Dolan, 2012). Sin embargo, el modelo de *coaching* actual se le atribuye a Thomas J. Leonard; su aportación fue unir varios conceptos empresariales, psicológicos, filosóficos, deportivos y espirituales, para ayudar a las personas a alcanzar sus metas (Menéndez, 2011).

2. El *coaching* ontológico y su funcionalidad

En la Grecia antigua, Sócrates afirmaba que no existía el enseñar, sino sólo el aprender, y despertaba en sus discípulos una conciencia clara de sus carencias para impulsarles a cuestionarse a sí mismos, encontrando así las respuestas (Menéndez, 2011). De acuerdo a este enfoque, el *coaching* puede caracterizarse como un futuro socrático basado en el diálogo, focalizado entre un facilitador (*coach*) y un participante (*coachee*/cliente), en donde el *coach* utiliza preguntas abiertas, escucha activa, resúmenes y reflexiones que tienen por objetivo estimular el autoconocimiento y la responsabilidad del participante (Passmore y Fillery; 2011); este tipo de práctica, se ha ido popularizando en las organizaciones, a nivel grupal o personal, según las necesidades; como una herramienta de gran alcance, para lograr ciertos resultados.

Sin embargo, hay que indagar en la literatura para tener un acercamiento más claro del quehacer del *coaching* y sus resultados. Para ello, es prudente partir de la traducción de la palabra *Coach*; en inglés esta palabra tienen dos significados: estudiar con un guía-maestro entrenador; o carruaje que trasporta a alguno de un lugar a otro (Nava y Mena, 2012). Por otro lado, Whitmore (2011), anota que el *Concise Oxford Dictionary* define el verbo *to coach* como “tutelar, adiestrar; dar indicaciones o comunicar hechos”. Estas definiciones, no aportan tanto, sin embargo este paso es un buen inicio.

2.1. Entendiendo el quehacer del *coaching* y su aplicación en las empresas

Una manera más práctica de entender el proceso del *Coaching*, es distinguir sus partes interesadas; en este caso existen tres elementos básicos: el *coach*: persona que ayuda a otra en su crecimiento personal y profesional; *coachee*: persona o grupo que recibe la ayuda y la de *coaching*: proceso de ayuda que implica al *coach* y al *coachee* (Bizquerra, 2008).

En la búsqueda de una definición clara del concepto del *coaching*, es notorio que no existe una única definición. Distintas escuelas, profesionales y asociaciones han

definido el concepto, basándose principalmente en los aspectos que ellos creen que son más relevantes dentro de un proceso de *coaching*. Por lo general, estas definiciones son más complementarias que contradictorias y aportan, una mayor y mejor comprensión del significado (García y Molina, 2013).

La Federación Internacional de *coaching* (IFC), la más grande de las organizaciones de *coaching* profesional en el mundo, lo enfoca a los resultados. Esta organización define *el coaching* como una relación profesional continuada, que ayuda a que las personas produzcan resultados extraordinarios en sus vidas, carreras, negocios u organizaciones. A través de este proceso de *coaching*, los *coachees* ahondan en su aprendizaje, mejoran su desempeño y refuerzan su calidad de vida. El *coach* sirve a un *coachee*, o *coachees*, para ayudarlo alcanzar su misión en la vida, a vivir una vida personal y profesional sobre la base de sus valores, a ser mejor persona, a superar sus obstáculos y a alcanzar sus metas. El *coach* asume que su *coachee* tiene un enorme potencial y sabiduría interna para responder a sus interrogantes; asimismo, indica que el *coaching* es el proceso indagatorio y creativo y generador de ideas entre un *Coach* y un *Coachee* que los inspira a maximizar su potencial personal y profesional.

Aunado a esta definición, se encuentran dos organizaciones más (Ortiz, 2010): la primera es la Sociedad Francesa de *Coaching* que anota que el *coaching* es el acompañamiento que se hace a una persona a partir de sus necesidades profesionales, para el desarrollo de su potencial y de su saber hacer; y la segunda, es la Escuela Europea de *Coaching*, que hace referencia al método: indicando que el *coaching* es el arte de hacer preguntas para ayudar a otras personas, a través del aprendizaje, en la exploración y el descubrimiento de nuevas creencias que tienen como resultado el logro de los objetivos.

Dentro del ámbito deportivo, la Asociación Española de Psicología y *Coaching* Deportivo (AEPCODE), define al *coaching* como una estrategia de intervención psicológica que consiste en una relación continuada entre el *coach* y el *coachee* o un equipo, que posibilita la mejora del rendimiento del *coachee* o equipo para alcanzar resultados extraordinarios y conseguir una vida plena y satisfactoria.

Uno de los pioneros del concepto fue Whitmore (2003), quien lo explica de una forma simple; indicando que el *coaching* es una actividad que consiste en acompañar a personas o grupos en la consecución de sus objetivos, y más específicamente, en el éxito de su evolución personal, profesional y espiritual; es destrabar el potencial de una persona para maximizar su propio rendimiento y añaden que consiste en ayudar a la persona a aprender, en lugar de enseñarle.

Este mismo autor, publicó en 1992 que el *Coaching* es un método para mejorar el rendimiento de las personas, donde desarrolló uno de los modelos más influyentes del *coaching*, llamado GROW (objetivo, realidad, opciones y conclusión, en sus siglas en inglés). La última versión del mismo autor del modelo GROW fue publicado en 2010.

Es notorio que cada autor enfoca la definición de *coaching* de acuerdo a los diferentes paradigmas; como en el caso de Duhne (2007), quien lo concibe como la relación entre el *coach* y un *couchee*, donde el primero ayuda a que el segundo desarrolle competencias y se convierta en un observador más efectivo de sí mismo, de sus acciones y de las acciones de los demás. Por su parte, Jim Selman (2008) opina que el *coaching* es la relación profesional continuada que ayuda a obtener resultados extraordinarios en la vida, profesión, empresas o negocios de las personas.

El *coaching* es entendido en el contexto empresarial como el proceso interactivo, directo y confidencial mediante el cual un agente, que actúa como entrenador, y una persona (o grupo reducido de personas) buscan el camino más eficaz para alcanzar los objetivos fijados, realizando para ello cambios profundos (Launer, 2007 citado por Vidal-Salazar et al, 2011) y utilizando sus propios recursos y habilidades.

Es importante notar que se trata de una disciplina emergente, como anota Anzorena (2008), que aporta en la facilitación de los procesos de desarrollo de las personas: en la evolución profesional, en los tránsitos de la carrera laboral, en el logro de objetivos, en la disolución de obstáculos para el crecimiento personal y en la búsqueda del mejoramiento de los niveles de rendimiento.

Otros criterios, como el aportado por Bizquerra (2008), lo define con un enfoque más amplio cuando afirma que el *coaching* es un asesoramiento que promueve el establecimiento y la aclaración de metas, objetivos y valores; el desarrollo de competencias personales y profesionales hasta el nivel óptimo; la ayuda a superar bloqueos mentales y emocionales; la ayuda para llegar a ser lo mejor que uno puede ser y otros aspectos de desarrollo personal y profesional. O bien, en un enfoque diferente cuando se señala que el *coaching* es una oportunidad para contribuir al desarrollo de otra persona como indica Barrón (2014); señalando que es una relación recíproca en la cual ambos comparten conocimientos y experiencias con el fin de maximizar el potencial de quien recibe el *coaching* y ayudarlo a lograr sus metas.

Este enfoque es reforzado por Anzorena (2008), el cual indica que el *coaching* se sustenta en el principio de la autonomía de la persona y está dirigido a que el *coachee* asuma plena responsabilidad por sus acciones y por los resultados obtenidos. El *coach* acompaña y facilita el proceso de aprendizaje y cambio que posibilite al individuo a realizar las acciones necesarias para conseguir los objetivos con los que está comprometido a alcanzar y que no está logrando.

La definición de Musicco (2013), establece un matiz interesante al definirlo artísticamente cuando manifiesta que es como el ‘arte de acompañar a la meta’ a través de una danza, un paso o dos en el que el *coach* pone en práctica métodos y técnicas específicas y un acercamiento ético para la gestión de la relación y del contrato, mientras que el *coachee* construye su objetivo y hace pasos para llegar a donde desea.

Tomando las principales ideas de los autores anteriores y a manera de conclusión, se define *coaching* como una relación recíproca (Bizquerra, 2008), directa, confidencial (Launer, 2007) y profesional continuada, que ayuda a que las personas (Federación Internacional del *Coaching*) a la consecución de sus objetivos y valores (Bizquerra, 2008), y más específicamente, al éxito de su evolución personal, profesional y espiritual (Whitmore, 2003), a partir de sus necesidades profesionales (Sociedad Francesa de *Coaching*), y a través del aprendizaje (Anzorena, 2008), en la exploración y en el descubrimiento de nuevas creencias (Escuela Europea de *Coaching*), que lo llevan a alcanzar resultados extraordinarios en la vida, profesión, empresas o negocios (Selman, 2008), y a conseguir una vida plena y satisfactoria (Asociación Española de Psicología y *Coaching* Deportivo); esta relación, ayuda a las personas a superar bloqueos mentales y emocionales, al convertirse en un observador más efectivo de sí mismo, de sus acciones y de las acciones de los demás (Duhne, 2007).

3. El *coaching* ontológico como estrategia

Hoy en día se han realizado interesantes propuestas para la ejecución del *coaching*. Una de ellas es la combinación de los componentes: ontología y *coaching*, donde se crea el *coaching* ontológico, el cual constituye una de las propuestas más importantes acerca de la necesidad y pertinencia del *coaching* en las empresas contemporáneas. Considerando al lenguaje y las conversaciones como un componente fundamental de la vida humana y como consecuencia, de las empresas y las organizaciones; el *coaching* aparece como la estrategia administrativa más adaptada a esta realidad.

De allí se desprende la figura del *coach* ontológico que se ocupa del ser humano; de lo que significa una persona, considerada en su totalidad, que tiene cuerpo, emocionalidades que se superponen, sincronicidades que no siempre se escuchan, espiritualidad y una forma de ver el mundo, con su lenguaje y sus conversaciones, facilitando procesos de cambio y aprendizaje (Francia, 2011).

3.1. De la ontología a la antología del lenguaje

3.1.1. Ontología

Etimológicamente la ontología se define como el logos o estudio del Ser; y de forma técnica se le suele definir como la ciencia del “Ser en tanto que Ser”. Ser es todo aquello que tiene ser; del mismo modo que se le llama estudiante a todo persona que estudia, o amante al que ama, Ser es el término que se puede utilizar para referirse a las cosas en la medida en que estas poseen ser (Gutiérrez, 1999). Otra definición que merece ser atendida es la de los antiguos griegos, para ellos significaba la comprensión general del ser en tanto tal; este concepto ha ido cambiando, como explica Echeverría (2013), puesto que la ontología griega estaba enmarcada en el programa metafísico y que, hoy en día la ontología se explica como parte de la filosofía que investiga en qué consiste el ser y cuáles son los ámbitos o regiones del ser fundamentales y se hace referencia a la comprensión genérica (la interpretación) de lo que significa ser humano.

Continuando con Echeverría; menciona que el término ontología que se usa actualmente, parte de la teoría de Heidegger que se relaciona con una investigación suya acerca de los que llamaba *Dasein* que se puede sintetizar como el modo particular de ser como son los seres humanos. En este sentido la ontología hace referencia a la comprensión genérica (la interpretación) de lo que significa ser humano.

3.1.2. Ontología del Lenguaje

Tomando como punto de partida a la ontología, surge una disciplina llamada ontología del lenguaje, cuya premisa central es revelar el conocimiento tanto sobre lo observado como sobre quién lo observa, en otras palabras, la aplicación de la declaración “dime lo que observas y te diré quién eres”, en la que descansa la capacidad de observar lo que

alguien dice con el propósito no sólo de conocer de lo cual se habla, sino también de interpretar el alma de quién habla (Echeverría, 2005).

Para comprender esta disciplina, es importante conocer las aportaciones de Humberto Maturana; a través de su libro “Sentido de lo Humano” formula en 1992, el concepto de “ontología del lenguaje” y explica la importancia que tiene el lenguaje desde el ser de las personas; explica también que esta percepción tiene una historia remota y parte proviene de Descartes en su filosofía, el pensamiento cuyos conceptos son la base para entender a los seres humanos, quien postula que el ser humano se convierte en el tipo de ser que es, es porque piensa, dice y concluye “yo pienso luego existo”.

Otro de los pioneros fue Fernando Flores, quien se considera como una figura importante puesto que aportó elementos para integrar la “ontología con el lenguaje”. Flores elaboró una tesis doctoral multidisciplinar, en el campus de *Berkeley* de la Universidad de California, donde la influencia más importante fue sobre la percepción, la cognición, el lenguaje y la comunicación de Maturana, la “filosofía existencial” de Heidegger, las críticas de *Dreyfus* (su profesor guía) al campo de la Inteligencia Artificial y las tesis sobre la performatividad del lenguaje de Searle y Austin, para producir una nueva comprensión de lenguaje y comunicación, que con el tiempo se convirtió en una disciplina para *coaching* profesional (Sieler, 2010).

Echeverría (2005), continúa con las ideas expuestas por Maturana y Flores y señala que en la ontología del lenguaje, se toma el concepto de ontología como el estudio del Ser, pero restringiéndolo al ser humano; en ella se explica la existencia del ser humano, como un fenómeno influido fuertemente por el lenguaje. En consecuencia, para el ser humano, el lenguaje es central para entender cómo son. El lenguaje es básicamente un instrumento, un medio de expresión, de transmisión, de comunicación que permite dar cuenta, de lo que se percibe, de lo que se piensa, de lo que se siente, pero que deja la realidad indemne, tal cual ella es, puesto que da cuenta de ella, la registra, la expresa y la transmite.

La idea de que el lenguaje genera realidad es la idea central en el *Coaching Ontológico*; la noción de actos de habla se desarrolló en un modelo de bases lingüísticas, y es un aspecto importante de la metodología del *Coaching Ontológico* (Sieler, 2010). El *coach* percibe las formas particulares en que usa y no usa del lenguaje el *coachee*, y cómo se limita de acuerdo a las circunstancias que observa. El cambio en el lenguaje, especialmente en el uso de hechos lingüísticos primarios, puede ser la base para el desarrollo de la conducta y la comunicación más eficaz, y la resolución de cuestiones problemáticas.

3.2. El *coaching* ontológico como una nueva rama

De acuerdo al planteamiento filosófico de la lingüística, el ser humano es estar en un proceso permanente de devenir, de inventarnos y reinventarnos dentro de una deriva histórica (Echeverría, 2005). Consecuentemente, este constante devenir conduce a admitir que pueden existir varias ‘verdades’ lo que abre la puerta a dos posibilidades interesantes: (1) Que los otros pueden tener una verdad diferente y que pueden ambas verdades convivir. Esto requiere entonces darle fuerza al respeto hacia los demás, el

respeto frente a la diferencia; (2) aquello que preocupa al ser humano, y no se puede resolver, se mira de otra manera, desde otro lado, es posible que se vean posibilidades que para ellos, no existían antes, y eso los lleve a su solución o simplemente que desaparezca de su preocupación.

Es en esta segunda posibilidad donde trabaja el *coaching* ontológico. El *coaching* ontológico, menciona Rovira (2009), es considerado como una disciplina que centra su hacer en la potencialización de las capacidades intelectuales del ser humano, así como por medio del lenguaje, mediante el cual comparte su conocimiento y su entendimiento con el propósito de enriquecerlo; entonces, el lenguaje es un elemento esencial que permite y propulsa el crecimiento y la utilización tanto del entendimiento como del conocimiento. Aunada a este concepto, Francia (2011) hace una interesante aportación cuando afirma que no solamente se observa el tipo de conversaciones e interacciones que tienen las personas, sino también el aspecto emocional en la que esas conversaciones tienen lugar, además de su corporalidad y energía de los involucrados en esas interacciones.

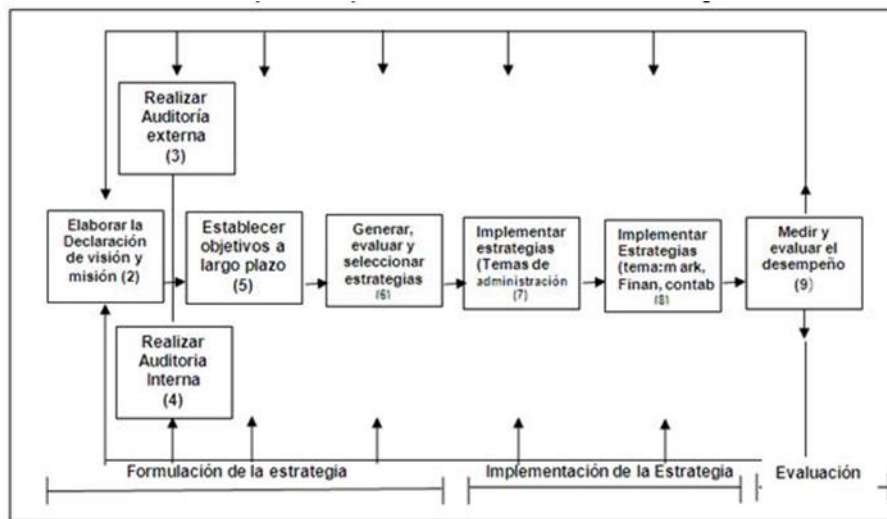
El *coaching* ontológico, ha sido desarrollado por los chilenos Rafael Echeverría a través de *The Newfield Group* y por Fernando Flores. El origen de este modelo está plasmado en el “libro Ontología del Lenguaje” publicado en 1994 por Rafael Echeverría. En este texto, Echeverría menciona a dos grandes pensadores que influyen en este modelo: Federico Nietzsche y Humberto Maturana. Uno de los postulados que resulta controversial en este modelo es el considerar que “los seres humanos se crean a sí mismos en y a través del lenguaje” (Echeverría, 1994).

El *coaching* trabaja fundamentalmente en el dominio del ser, produciendo cambios en el tipo de observador que es la persona. Una vez estos cambios fueron hechos en la persona (por ella misma), su perspectiva se amplía, se convierte en un observador diferente y tiene acceso a tomar acciones diferentes, logrando resultados nunca antes alcanzados por ella. Se produce un cambio ontológico en la persona, paradigmas, patrones de interpretación, análisis de las cosas (Nava y Mena, 2012).

Echeverría (1994) indica que el *coaching ontológico* se concibe como una técnica gerencial que asume la crisis de los modelos tradicionales que se muestran inaplicables para trabajadores no manuales (personal cuyo trabajo depende del carácter generativo de las conversaciones). En contraposición a la administración tradicional, que está enteramente ocupada del hacer del ser humano y de técnicas estándar como resultado de este planteamiento que resuelve la excelencia organizacional, el *coaching* ontológico permite por medio de la razón, que las personas se transformen en seres creativos e imaginativos, además de emprendedores para poner en práctica sus creaciones administrativas.

De ahí la conveniencia de considerar a la planeación estratégica como un aspecto fundamental para la realización del *coaching*, siendo útil que la misión, la visión y los valores, sean considerados el eje del plan estratégico; esto es debido a que su enunciación es un asunto que constituye una etapa dentro del proceso de planeación estratégica (figura 1), que debe alimentarse del análisis de investigaciones del entorno y de la empresa y enmarcarse dentro de posibles escenarios de la realidad futura; igualmente, se proponen estrategias, objetivos y acciones que ayudan a materializarlos y volver tangible, operativa, controlable y mensurable la estrategia del negocio (Lema, 2004).

Figura 1. Proceso de la planeación estratégica



Fuente: Fred (2008).

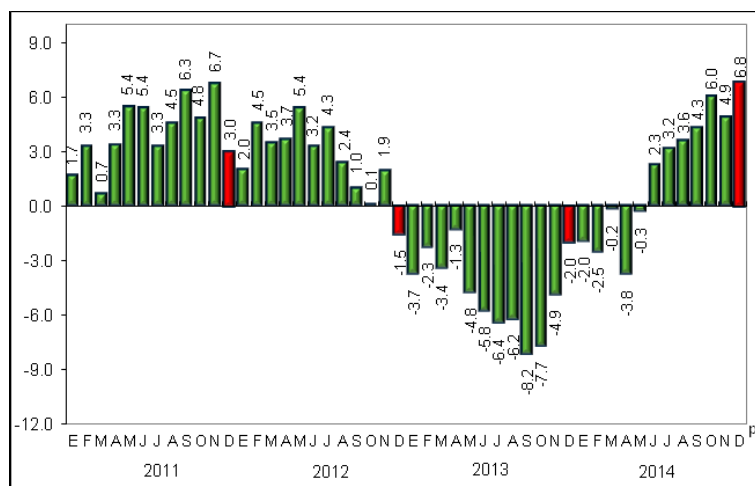
En esta perspectiva, y además de que el *coaching* genera la mejora de determinadas capacidades o habilidades sobre los individuos; es necesario aplicar estas técnicas a las organizaciones, para procurar cambios claves para el desarrollo sostenido empresarial, un aspecto poco estudiado y analizado hasta el momento.

Para entender el concepto de desarrollo sostenido, es conveniente tomar en cuenta lo indicado en la Norma ISO 9004:2009 (Gestión para el éxito sostenido de una organización), la cual define como éxito sostenido, al resultado de la capacidad de una organización para lograr y mantener sus objetivos a largo plazo.

Basado en lo anterior, para que la organización pueda lograr el éxito sostenido deberá satisfacer sus necesidades y expectativas de manera coherente con sus partes interesadas, procurando sea de una manera equilibrada y a largo plazo; para ello es necesario considerar los cambios constantes e inciertos del entorno de la organización y para lograr el éxito sostenido su alta dirección debería, entre otras cuestiones, tener una planificación con perspectiva a largo plazo, realizar un seguimiento constante y analizar regularmente el entorno de la organización, establecer los procesos adecuados para lograr la estrategia de la organización, asegurándose de que son capaces de responder rápidamente a las circunstancias cambiantes, evaluar regularmente el cumplimiento de sus planes y procedimientos vigentes y tomar las acciones correctivas y preventivas apropiadas y sobre todo, asegurarse de que las personas en la organización tienen oportunidades de aprender en su propio beneficio, así como para mantener la vitalidad de la organización.

Dentro de todo este contexto, y para fines de esta investigación se considera la participación del sector de la construcción, como un sector que finca su relevancia dentro de la economía nacional, debido a su capacidad de generación de empleo y a su relación con la formación de la infraestructura productiva (Robles y Velázquez, 2013); resaltando su participación al contar con un crecimiento, de acuerdo con INEGI (2015), del 6.8% en el 2014 como se aprecia en la figura 2.

Figura 2. Industria de la Construcción a diciembre de 2014 (*Variación porcentual real respecto al mismo mes del año anterior*)



Fuente: INEGI (2015).

Es, por tanto, la industria de la construcción en México un sector relevante de la economía; dentro de un contexto donde el desarrollo económico ha sido insuficiente en las últimas décadas, lo cual ha provocado rezagos importantes en la generación de empleos y la satisfacción de las necesidades básicas de amplios sectores de la población (Robles y Velázquez, 2013).

Percatándose de esta necesidad, el *coaching* en la industria de la construcción puede considerarse una solución, debido a la flexibilidad que presenta en adaptarse a las particularidades y necesidades de la empresa (Vidal-Salazar et. al., 2010); aunado a lo anterior, si se considera desarrollarlo en el contexto de la planeación estratégica se torna interesante, puesto que el *coaching*, pese a ser un proceso orientado al cambio, está centrado en la situación presente (Bou-Pérez, 2007) y se desarrolla en un contexto concreto, por lo que requiere ser ubicado y moldeado según el momento, el espacio y las circunstancias donde tiene lugar.

Actualmente no se encontraron estudios realizados que analicen el fenómeno del *coaching* ontológico aplicado a las empresas del sector de la construcción; de la misma manera, no se encontraron estudios que determinen las diferencias en el *coaching* aplicado en una gran empresa y en una PyME; tampoco se encontraron investigaciones sobre los efectos del *coaching* ontológico en términos de planeación estratégica. Se observa también que existe escasez de publicaciones que abordan –teórica y empíricamente– la relación que existe entre *coaching* ontológico y la sostenibilidad.

Con base en todo lo precedente queda de manifiesto la necesidad de analizar la manera de cómo afecta la aplicación del *coaching* ontológico a las PyME's de las empresas del sector de servicios de la construcción en México (1), valorando si su aplicación tendrá un enfoque para desarrollar la sostenibilidad, si se incorpora éste dentro de la planeación

¹ Corresponde al subsector 237 “Construcción de Obras de Ingeniería Civil u Obra Pesada” como indica el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte 2013 (INEGI 2013).

estratégica de la empresa.

METODOLOGÍA

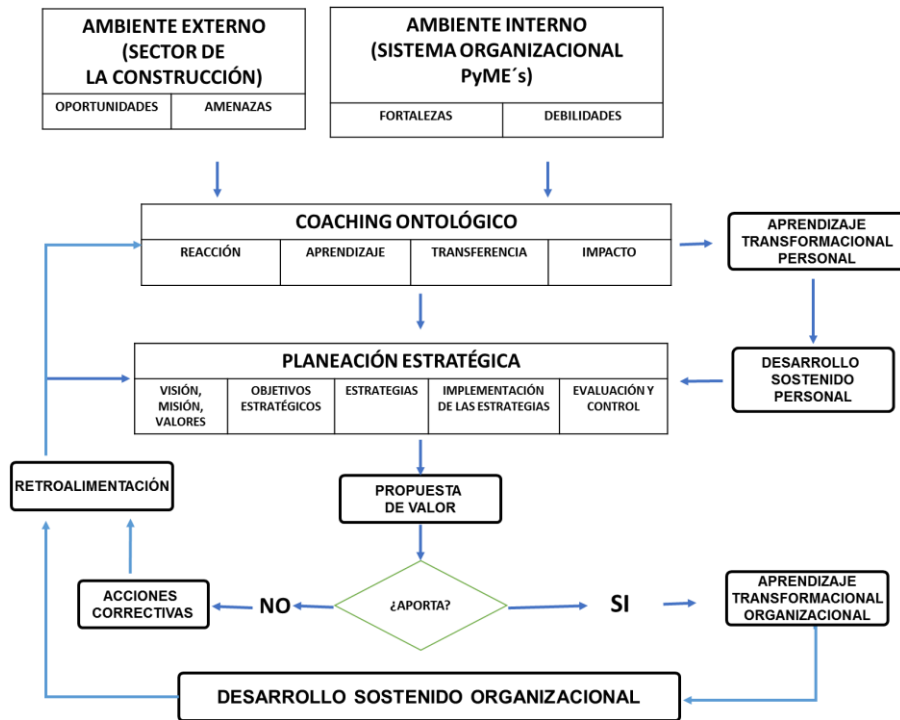
Objetivo general

Diseñar un modelo estratégico basado en los componentes del *coaching* ontológico integrados a la planeación estratégica, valorando si su aplicación tendrá un enfoque para impulsar el desarrollo sostenido de las PyME's en el sector de servicios de la construcción en México.

Objetivos específicos

1. Identificar los elementos necesarios para utilizar el *coaching* ontológico en la planeación estratégica dentro de las PyME's en el sector de servicios de la construcción en México.
2. Demostrar la forma de integración de los elementos del *coaching* ontológico en la planeación estratégica y el desarrollo sostenido dentro de las PyME's en el sector de servicios de la construcción en México.

DETALLES DEL DISEÑO DEL MODELO



Explicación del modelo:

1. Este modelo se basa en postulados y principios de la ontología del lenguaje (Echeverría, 2013) :

Postulados: (1) se interpreta a los seres humanos como seres lingüísticos, (2) se interpreta el lenguaje como generativo y (3) los seres humanos se crean a sí mismos en y a través del lenguaje.

Principios: (1) No se sabe cómo son las cosas, sólo se sabe cómo se observan o cómo se interpretan; se vive en mundos interpretativos; (2) no sólo se actúa de acuerdo a cómo se es (y se hace), también se es de acuerdo a cómo se actúa; la acción genera SER; el ser deviene de acuerdo a lo que hace; (3) Los individuos actúan de acuerdo a los sistemas a que pertenecen, pero a través de sus acciones, aunque condicionados por estos sistemas sociales, también pueden cambiar tales sistemas sociales.

2. EL coaching ontológico tiene dos funciones, la primera es integrar los componentes del *coaching* ontológico a la planeación estratégica de la

organización y segundo, ofrecer coaching ontológico personal a los integrantes de la organización.

3. Por medio del coaching ontológico, se desarrolla la planeación estratégica de la organización (Fred, 2008), que incluye la visión y la misión; se identifican las oportunidades y amenazas externas de la organización y se determinan las fortalezas y debilidades internas y con ellos, se establecen los objetivos a largo plazo y se generan estrategias alternativas donde se eligen las particulares que se han de seguir. Posteriormente se entra a una etapa de acción donde se implementan las estrategias; esta etapa es donde se requiere de disciplina personal y compromiso y depende de la capacidad de los gerentes para motivar a los empleados; las habilidades interpersonales son esenciales para la exitosa transformación de la estrategia. En la evaluación de la estrategia, se necesita saber cuáles estrategias funcionan y cuáles no, para ello se requiere (1) revisar los factores externos e internos que son la base de las estrategias actuales, (2) medir el desempeño y (3) realizar acciones correctivas.
4. Durante el proceso de planeación estratégica y basados en el principio: (3) “Los individuos actúan de acuerdo a los sistemas a que pertenecen, pero a través de sus acciones, aunque condicionados por estos sistemas sociales, también pueden cambiar tales sistemas sociales”; y haciendo uso del Coaching ontológico se lleva la persona, a través del lenguaje, hacia el aprendizaje transformacional, que tendría influencia para su desarrollo sostenido personal; este desarrollo sostenido de la persona va a provocar impactos positivos en la planeación estratégica de la empresa. El coaching puede ser parcial o global, pero en todo momento debe ser sistémico por lo que el aprendizaje transformacional organizacional, debe empezar por el subsistema más básico que son las personas.
5. Si las personas se transforman dentro de un departamento de la empresa, toda el área se transforma. Si los departamentos se transforman, se transforma toda el área, y si las diversas áreas que componen la empresa se transforman, entonces la organización se transforma.
6. Si la planeación estratégica de la empresa no ofrece una propuesta de valor cuando los componentes del *coaching* ontológico son integrados a ella, entonces se realizan acciones correctivas, que aportan (retroalimentación) al nuevo proceso de planeación y de coaching ontológico por medio de una nueva percepción de la realidad en la organización.
7. Si la planeación estratégica de la empresa ofrece una propuesta de valor cuando los componentes del *coaching* ontológico son integrados a ella, entonces ocurre un aprendizaje transformacional organizacional y se espera que impulse el desarrollo sostenido organizacional. Esta a su vez, aporta (retroalimentación) al

nuevo proceso de planeación y de coaching ontológico por medio de una nueva percepción en la realidad de la organización.

CONCLUSIONES

Hoy en día, el coaching constituye una herramienta fundamental para brindar apoyo y aporta al desarrollo de los líderes organizacionales, quienes directamente influyen, de manera importante al cambio cultural y al mejoramiento del clima organizacional; estos aspectos impactan a la efectividad de la organización (Díaz y Zavala, 2008). Resulta asimismo prudente señalar, que a nivel mundial se busque a través del coaching, aumentar la eficacia de los líderes para mejorar el rendimiento de las organizaciones (Nelson y Hogan, 2009); lo oportuno radica en el uso del coaching como herramienta de intervención directiva; la cual se ha visto incrementado de forma radical en las últimas dos décadas, de manera que se ha transformado en el método de desarrollo de las empresas de mayor crecimiento (McCauley, 2008; citado por de Haro, 2012).

Esta investigación propuso un modelo estratégico basado en los componentes del coaching ontológico integrados a la planeación estratégica para el desarrollo sostenido en las PyME's en el sector de servicios de la construcción en México; visto desde esta perspectiva, el tener un modelo estratégico que ayude a las empresas a entender y generar estrategias, les permitirá tener un mejor comportamiento, impactando positivamente a los empleos y al crecimiento del sector, además beneficiará a estas mismas empresas al estar a la vanguardia en materia de administración y consecuentemente se verá beneficiada la sociedad por la oferta de empleos que habría, al hacerse más robusto el sector.

Un modelo estratégico como el diseñado en esta investigación, reduce costos a las empresas, debido a su eficiencia al utilizarse el coaching ontológico en su implantación, lo que provoca un cambio en la percepción a la alta gerencia quien valora la inversión ejercida y el tiempo destinado a este tipo de acciones dando la certeza que siempre habrá consistencia en las acciones tomadas por los miembros de las empresas. Aunado a esto, los empleados en todos los niveles de la organización valoran el esfuerzo y se integran más fácilmente a la ejecución de los procesos de la organización.

El éxito de la implantación del modelo estratégico en las PyME's del sector de servicios de la construcción en México, están determinadas por el desarrollo sostenido, lo que implica que sus servicios tendrán cabida en los mercados hasta antes considerados como inalcanzables; adicionalmente, las empresas capaces de aplicar el modelo, podrán brindar a la sociedad evidencias fehacientes de su compromiso con ella.

Resulta asimismo interesante señalar que el modelo estratégico será un apoyo para otros sectores que buscan la efectividad organizacional, donde la práctica del coaching pueda no estar considerada dentro de su agenda y que requieran realizar una planeación estratégica de vanguardia con la finalidad de mejorar su competitividad organizacional.

BIBLIOGRAFÍA

- Lema, J. P. (2014). La guía estratégica. El corazón del plan estratégico. *Revista EIA* , Número 2 p. 9-16.
- Anzorena, O. (2008). Maestría Personal, El camino del Liderazgo - Un modelo para la práctica del coaching y la facilitación del Desarrollo Personal y Organizacional. Ediciones Lea.
- Barrón Aráoz, R. A. (2014). Más allá del liderazgo empresarial: el coaching. *Quipukamayoc* , 17(34), 141-150.
- Bizquerra , A. (2008). Coaching: achallenge forguidance practitioners. *Universidad de Barcelona* .
- Bou-Pérez. (2007). *Coaching para docentes*. España: Club Universitario.
- De Carvalho, L. D. . (2012). Competitividade das nações: Análise da métrica utilizada pelo world economic forum . *RAE: Revista De Administração De Empresas* , 52(4), 421-434.
- Dolan, S. L. (2012). *Coaching por valores*. LID .
- Duhne, C. L. (2007). *Coaching ejecutivo: una opción práctica para lograr el desarrollo de la gente*. Trillas.
- Echeverría, R. (1994). *La Ontología del Lenguaje, Ediciones, pp. 408,*. Santiago Chile: Dolmen.
- Francia Utard, M. . (2011). Una Propuesta Educativa desde la Mirada del Coaching Ontológico Relacional. *Humanistas* , 8(8), 120-137.
- Fred, R. D. (2008). *Conceptos de Administración estratégica* (Décima Primera ed.). (P. Educación, Ed.) México.
- Hernández Darías, L., Salazar Fernandez, D., Rodríguez Ariosa, M., & Fleitas Triana, M. (2010). Estrategia para integrar la gestión del capital humano a la gestión empresarial. 3(31), 10.
- Hitt, M. A. (2001). Direct and moderating effects of human capital on strategy and performance in professional service firms: a resource-based perspective. *Academy Of Management Journal* , 44(1), 13-28.
- INEGI. (2015). Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- ISO, 9. (2009). *Gestión para el éxito sostenido de una organización*. Secretaría Central de ISO: Ginebra, Suiza,.
- Martín García, R. &. (2011). Análisis estratégico de la industria de la construcción en España. *Cuadernos de Gestión* , 11(1), 141-161.
- Menéndez. (2011). *Principios del Coaching* (2ª. Edición. ed.). Bubok.

Musicco, G. (2013). El nuevo coaching en Europa. *RUE: Revista universitaria europea* , (19), 23-38.

Nava y Mena. (2012). Coaching y competencias cognitivas de los directores de escuelas de las universidades públicas binacionales. *Gestión y Gerencia* , 109.

Ortiz de Zárate, M. (2010). Psicología y Coaching: marco general, las diferentes escuelas. *Capital humano* , 243, 56-68.

Passmore, J., & Fillery Travis, A. . (2011). A critical review of executive coaching research: a decade of progress and what's to come. *Coaching: an International Journal of Theory. Research and Practice* , 4(2), 70-88.

Pérez, M. C. (2009). El factor humano como elemento dinamizador del proceso empresarial en la gestión de la información y conocimiento. *Acimed* , 20(5), 42-55.

Robles Rodríguez, .. &. (2013). Estructura y desempeño del sector de la construcción en México. *El Cotidiano* , 182, 105.

Rovira, M. E. *Coaching ontológico: La Gestión Administrativa de las Sociedades del entendimiento y conocimiento*.

Saavedra García, M. (2012). Una propuesta para la determinación de la competitividad en la PyME latinoamericana. *Pensamiento & Gestión* , (33), 93-124.

Selman, J. (2008). *Liderazgo*. Buenos Aires: Pearson Educación.

Sherman y Freas. (2004). The wild west of executive coaching. *Harvard Business Review* , 82 (11): 82-93.

Sieler, A. (2003). Ontology: A theoretical basis for professional coaching. In first Australian Conference on Evidence-Based Coaching. *University of Sydney-Sydney, Australia* , 7-8.

Valenzuela y Molina. (2013). La emergencia de las "empresas de base humana" en España : ¿nuevo paradigma o consecuencia inevitable? *Documents d'anàlisi geogràfica* .

Vidal Salazar, M. D. (2011). Vidal Salazar, Efectividad del coaching en los procesos de mejora de gestión de empresas. *Universia Business Review* , 31, 82-101.

Whitmore. (2003). *Coaching. El método para aumentar el rendimiento de las personas*. Barcelona, España.: Paisós.

Whitmore, J. (1996). *Coaching for performance: The new edition of the practical guide*. London: Nicholas Brealey.

CO autor-PUBLICADO 2

Modelo Estratégico de Gestión de competencias empresariales y ventajas competitivas de las PyMEs del sector de la construcción en México

✉ Juan Ramírez Marroquín ^a; Beatriz Pico González ^b, Miguel Balladares Sánchez ^c, Eduardo Olivares Pérez ^d, Ernesto Rodríguez Moguel ^e.

^{a,c,e} Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Cunduacán Jalpa de Méndez, Km. 1, Cunduacán Tabasco, México. CP 86690.

✉marroquin19@hotmail.com

^b Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

^d Comisión Federal de Electricidad

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Resumen

El propósito de esta investigación es Diseñar un Modelo Estratégico de Gestión de competencias empresariales y ventajas competitivas de las PyMEs del sector de la construcción en México, que nos permita identificar la existencia de nexos entre las capacidades básicas empresariales y el desarrollo de ventajas competitivas de las empresas del sector y de ser así, cuáles de ellas tienen mayor impacto en la obtención de rentas diferenciales, a fin de prolongar sus ciclos de vida. Estas ventajas están definidas en las organizaciones por sus recursos y su habilidad para obtener rendimientos diferenciales mayores a los de sus competidores, compitiendo para captar mercados y recursos, midiendo la competitividad según su participación relativa en el mercado o su rentabilidad.

Palabras Clave: Competencias empresariales, Ventajas competitivas, Sector de la construcción, Rentas Diferenciales

Introducción

En la actualidad, la globalización ha sido factor fundamental de cambios acelerados en el ámbito organizacional de las empresas, la tecnología, la homogenización de los mercados, la sustentabilidad, la relación empresa-medio ambiente, los creatividad y la innovación presente en el interior de las empresas, etc., han agudizado la competencia; atendiendo a lo anterior, las organizaciones deben poner especial atención a sus capacidades empresariales para competir en el sector que quieren participar y así poder alargar su ciclo de vida empresarial, permitiendo a los propietarios e inversionistas proyectar el tiempo de desarrollo y consolidación de la empresa, siendo vital el diagnóstico inicial de mercado donde se pretende competir, el macro ambiente y sus factores que intervienen en las actividades que desarrollará la empresa, las expectativas de los empresarios en cuanto a la recuperación de su inversión, entre otros elementos.

Dentro de los diferentes sectores productivos que integran la economía nacional, el sector de la construcción concentra una de las actividades más dinámicas e influyentes de toda la economía nacional, puesto que es una actividad cuya transversalidad detona a otras ramas de la economía cuando está en operación; el gran número de fuentes de trabajo que genera el sector y que resuelve gran parte del problema de desempleo de mano de obra poco calificada, incide directamente en un alto impacto social en la región donde se esté laborando. Por lo anterior expuesto, es fácil deducir que la inestabilidad de estas empresas, debido a sus ciclos cortos de vida, crea crisis social y económica, no solo a los integrantes de la empresa que se ven afectados directamente, sino, de manera indirecta a gran porción de la población (el retraso en la entrega de los proyectos y obras que les fueron asignadas repercute en el usuario final con un alto impacto social).

Contar con un Modelo Estratégico de Gestión de competencias empresariales y ventajas competitivas para las PyMEs del sector de la construcción, proporcionará un marco de referencia a los empresarios que estén o quieran incursionar en este sector, permitiéndoles avizorar las posibilidades de éxito, alargando el ciclo de vida de sus empresas y su permanencia en el sector. De igual manera, tendrá una utilidad social dado que, al obtener mejores beneficios económicos, se abrirán nuevas alternativas de inversión que reforzará a este tipo de empresas, repercutiendo directamente en el fortalecimiento de la economía local, regional y nacional, debido a la generación de riqueza y de empleos, por el impacto económico que este sector tiene en México. En el ámbito académico se harán aportaciones al presentar un modelo

que relacione de manera diferente, el impacto de las capacidades empresariales en la ventaja competitiva de las empresas del sector.

CAPACIDADES EMPRESARIALES Y VENTAJAS COMPETITIVAS

Para identificar, analizar y evaluar las ventajas competitivas sectoriales y empresariales, en los 90's, los modelos predominantes se concentraban en el entorno -externo- económico, Porter (1990), más adelante Prahalad y Hamel (1996), enfocaron la mirada hacia el interior de las organizaciones e introdujeron el concepto de competencias centrales (*Core Competencies*). Esta incorporación del concepto de competencia central, hace que las empresas cambien el análisis que tradicionalmente se hacía, en el que se sostenía que las variables exógenas eran las que proporcionaban ventajas competitivas y desvían la mirada, hacia el interior de las mismas, focalizándola en la capacidad para operar sobre las variables endógenas propias de las empresas. Además señalan, que *“las capacidades son el pegamento que liga las distintas actividades comerciales y el motor para nuevos desarrollos”*. Más aún, en referencia a las competencias centrales o medulares, los autores señalan que *“a diferencia de los bienes físicos que sí se deterioran con el tiempo, las capacidades centrales mejoran a medida que se las emplea y comparte”*.

Las competencias centrales de la empresa, son parte medular del paradigma de la administración estratégica y su uso se extiende a otras áreas de estudio como la economía, educación, ingeniería, ciencias de la salud, etc. Sin embargo, existe un gran debate respecto a cómo emergen y evolucionan, además de cómo identificarlas, medirlas y relacionarlas con una ventaja competitiva, (Álvarez, 2003)

Existe una gran cantidad de bibliografía con propuestas teóricas y pocos estudios empíricos, los cuales no han logrado probar la relación lineal entre competencias centrales, ventaja competitiva y desempeño superior.

Ahora bien, qué ha sucedido con las empresas del sector de la construcción, en relación a sus estrategias empresariales; los modelos tradicionales de la estrategia competitiva de las empresas de construcción, tienen la tendencia a centrarse en factores exógenos. El concepto más recientemente aceptado de las capacidades dinámicas, se extiende más allá de la consideración de los recursos estáticos, centrando su atención en la capacidad de las empresas para reconfigurar sus rutinas de operación, obteniendo así, las respuestas a los cambios del entorno (Green et al. 2008). De esta forma el enfoque, en el cómo las empresas, se adaptan

continuamente a los cambios del entorno, proporciona nuevos conocimientos sobre la estrategia competitiva en el sector de la construcción.

De la misma forma de Haan et al. (2002), mencionan en su estudio, el concepto de competencias básicas² y que su enfoque tiene validez cuando se aplica a las empresas del sector de la construcción. El estudio se centra en el análisis de la adecuación entre las estrategias de mercado de las empresas de la industria de la construcción y de sus capacidades básicas.

Por otro lado, Styhre et al. (2004), en un estudio aplicado en seis proyectos de construcción sueca, examinan las prácticas de aprendizaje organizacional y el intercambio de conocimientos y experiencias, sosteniendo que son un mecanismo clave para la adaptación a los cambios en el entorno de la organización y para proporcionar soluciones innovadoras. El estudio, permitió conocer que en la industria de la construcción sueca, las prácticas de aprendizaje organizacional son, en muchos casos, poco desarrollados y por lo tanto, los mecanismos para el intercambio de *know-how*, información y experiencias siguen siendo una capacidad de la organización, no explotadas plenamente.

En su trabajo, Kale and Karaman (2011), dirigido a empresas de la construcción que operan en Turquía, resaltan, como un desafío a las empresas de construcción, la gestión eficaz de los recursos del conocimiento como un factor clave en la obtención y mantenimiento de ventajas competitivas. La evaluación de las prácticas de gestión del conocimiento, es considerada como uno de los retos más importantes que enfrentan las empresas en el entorno empresarial actual. En su trabajo, proponen un modelo para la evaluación de las prácticas de gestión del conocimiento de las empresas de este sector. El modelo evalúa las prácticas de gestión del conocimiento de una empresa, identifica sus ventajas y desventajas competitivas en cada práctica de la gestión del conocimiento y establece prioridades para las acciones de gestión dirigidas a las mejora de las prácticas de gestión del conocimiento.

Aunado a lo anterior, en un estudio aplicado a empresas del sector de la construcción del Reino Unido, se plantea la incorporación de la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en el sector de la construcción, como otro proceso empresarial, contemplando también la posibilidad de sistematizar la I+D+i utilizando la serie de normas UNE 166,000. El estudio plantea un modelo de competitividad general focalizado en la innovación, que se particulariza en una propuesta de modelo de gestión de I+D+i para empresas constructoras. El

² Algunos autores denominan las competencias centrales como competencias dinámicas, competencias básicas o competencias esenciales.

establecimiento de un proceso sistemático de innovación supone la necesidad de crear estructuras organizacionales distintas a las actualmente existentes en las empresas constructoras (Correa et al., 2007).

En Latinoamérica, Acosta et al. (2009), en un estudio aplicado a las empresas contratistas adscritas a la Cámara de Comercio e Industrial del municipio Lagunillas del estado Zulia, identificaron los factores endógenos que han influido en el desarrollo sustentable de las Pymes del subsector. Los hallazgos encontrados revelan que los factores endógenos se ubican en las siguientes categorías: (a) económicos (b) financieros, (c) técnicos, (d) talento humano, (e) gerenciales. Se concluye que los factores internos incidentes en el desarrollo sustentable de las Pymes se ubican en las diferentes áreas de funcionamiento de las empresas.

Asimismo, Narváez et al. (2005), en un estudio realizado a las PyMEs ubicada en la Península de Paraguaná, que provee productos y servicios a la industria petrolera establecida en dicha zona, sostienen que el análisis de un sector empresarial, permite determinar las posibilidades estratégicas para desarrollar la capacidad competitiva del mismo. Sin embargo, para llegar a identificar cuál será la mejor estrategia, se hace necesario conocer las características y peculiaridades de dicho sector y de su entorno, así como las fuerzas fundamentales que ejercen influencia en el mismo. Del estudio realizado, se desprende que en el sector hay una marcada rivalidad entre las empresas que lo conforman y que compiten básicamente en aspectos tales como: precio de venta, costos de producción, calidad de los productos y servicios, y satisfacción al cliente. Además, se establece como propuesta para llegar a alcanzar altos niveles competitivos en este sector, la posibilidad de asociaciones o alianzas de algunas de las empresas a través de la estrategia denominada “coopetencia”, para, de esta manera, ofrecer respuesta conjunta a las amenazas, aprovechar mejor las oportunidades y fortalezas y por consiguiente desarrollar el sector de las PyMEs en la Península de Paraguaná.

Por otro lado, Orozco et al. (2011), sostienen que la globalización y la competitividad en la industria, han generado una necesidad urgente por una estrategia efectiva para la gestión de la competitividad. Para ello, las compañías requieren un mejor entendimiento sobre la definición de competitividad, los factores que la determinan, y los índices que la miden. En su estudio presentan los factores que determinan la competitividad de las compañías constructoras chilenas y los índices que la miden.

De manera similar, Alvarado et al. (2009), en un estudio realizado en Chile, sostienen que, a las organizaciones industriales, les resulta de vital importancia contar con modelos eficientes y efectivos de estrategias de éxito empresarial, cuya aplicación no debe quedarse únicamente

en un análisis de la situación, sino que debe lograr formular e implementar dichas estrategias, para que lleven a las empresas a mejorar su posición competitiva en estos mercados. Los autores manifiestan que este proceso debe incluir: El análisis, la formulación y la implementación de estrategias de éxito, que necesariamente deben estar inspiradas en el conocimiento que crea valor. Es decir, la gestión del capital intelectual de la organización, bajo cuyo foco administrativo se encuentran: Los recursos esenciales y las capacidades o competencias esenciales.

Posteriormente los autores en el 2011, presentan un modelo de gestión estratégica basado en la gestión del capital intelectual, donde se manifiesta el rol que deben cumplir las agrupaciones empresariales y señalar las actividades que deben realizar las empresas para lograr una efectiva formulación y análisis estratégico destinado a mejorar su posición competitiva. Los autores manifiestan que en este contexto competitivo, globalizado e incierto, el mayor valor de una empresa se centra en sus competencias esenciales, es decir, en su capital intelectual, (Alvarado et al. 2011).

En un estudio acerca de la competitividad de las empresas contratistas de Uganda, Ocen et al. (2010), aseveran que la literatura existente, relativa a la competitividad de las empresas constructoras, son aplicables solo a las -grandes- empresas de la localidad donde se realizan dichos estudios, debido a que, las características de los entornos de negocio en los distintos países, son muy variables, de nación a nación, de una industria a otra y de un proyecto a otro. En el caso de Uganda, la competitividad se ha convertido en algo fundamental para los contratistas de construcción locales (LCC) en la posibilidad de crecimiento del negocio y la mejora continua en el rendimiento. En su trabajo, se presentan los resultados de investigación, en el análisis de la competitividad de las LCC de Uganda y se sugieren también, recomendaciones para permitir que las mismas, sean más competitivas en la industria de la construcción y mejorar su rendimiento.

Ganar ventaja competitiva puede lograrse mediante el desarrollo de la existente y la creación de los nuevos recursos y capacidades para responder al mercado rápidamente cambiante. Entre estos recursos y capacidades, la gestión del conocimiento KM (*knowledge management*) es reconocida como el centro de atención para ganar ventaja competitiva. La gestión del conocimiento ha sido descrita por su posible papel en la creación de una ventaja competitiva sostenible para las organizaciones en todas las industrias, incluyendo la industria de la construcción, (Abu Bakar et al. 2012). En su estudio examinaron la relación entre los procesos

de gestión del conocimiento y la ventaja competitiva en las empresas de construcción ubicadas en Malasia.

De manera local en México, en el estado de Tabasco, un estudio presentado por Aragón et al. (2010), relacionaron el éxito competitivo en las PyMEs (Pequeñas y Medianas Empresas) del sector construcción, afirmando que éste, está influenciado positivamente por la innovación, la tecnología, la calidad del producto o servicio, adecuada dirección- gestión de los recursos humanos, la capacidad directiva y estrategias competitivas.

De igual manera, otro estudio realizado en México, Barroso (2012), incorpora el factor de la creatividad como una variable importante para que las empresas y organizaciones en general se adapten a su entorno y desarrollen ventajas competitivas. Las empresas constructoras no son ajenas a esto, por lo que necesitarán de la creatividad y la innovación para subsistir en un entorno cada vez más competitivo y global. En su trabajo evalúa la pertinencia de la aplicación de los conceptos de la creatividad en las empresas constructoras, los beneficios de la misma y sugiere acciones para fomentarla.

A continuación se presenta una tabla donde se resumen las teorías que relacionan las capacidades empresariales y las ventajas competitivas en las empresas del sector construcción. (Tabla 1)

Tabla 1 Teorías que relacionan las capacidades empresariales y las ventajas competitivas en las empresas del sector construcción

EXPONENTES	TEORÍAS	NO INCLUYE
JOB DE HAAN HANS VOORDIJK and GEERT-JAN JOOSTEN (2002) REINO UNIDO (1)	Mencionan que las estrategias que marca el mercado de las empresas de la industria de la construcción, requieren de ciertas capacidades básicas específicas, por parte de estas. La capacidad central específica de la empresa, determina los tipos de condiciones externas e internas que son críticos. Se mencionan las capacidades básicas que se requieren para el apoyo de ciertas estrategias de la empresa.	No se observa la relación que existe entre capacidades básicas y las ventajas competitivas que pueden generar las empresas y su impacto en la obtención de rendimientos superiores. Se determinan las condiciones externas e internas pero no la relación entre ellas. Se pueden obtener relaciones a través de un modelo que permita determinar cuales tienen mayor impacto en la obtención de rendimientos superiores.
STUART D. GREEN	Analizan los modelos tradicionales de la estrategia competitiva de las empresas de construcción, las cuales se centran en analizar factores exógenos. Por el contrario, la visión basada en los recursos de la gestión	Los autores evalúan únicamente factores internos (capacidades dinámicas) de las empresas, existen ausencia de la evaluación de factores externos.

GRAEME D. LARSEN and CHUNG-CHIN KAO (2008) REINO UNIDO (2)	estratégica, hace hincapié en la importancia de los factores endógenos. El concepto más recientemente aceptado es el de las capacidades dinámicas. El enfoque, en el cómo las empresas se adaptan continuamente a los cambios del entorno, proporciona nuevos conocimientos sobre la estrategia competitiva en el sector de la construcción.	También se percibe ausencia de un modelo que relacione los factores internos con el éxito competitivo y por supuesto de la consecución de resultados extraordinarios.
MA. DE LOURDES ÁLVAREZ MEDINA, 2003 MÉXICO (3)	Se hace una revisión de las principales propuestas teóricas y estudios empíricos y se concluye que las competencias centrales de la empresa son un constructo teórico que intentan explicar cómo y por qué una empresa alcanza el éxito económico.	El trabajo es un estudio de revisión de las principales teorías, pero no se propone un modelo que las relacione. Existen pocos estudios empíricos que no han logrado probar la relación lineal entre competencias centrales, ventaja competitiva y desempeño superior. No se determinan las condiciones externas y su relación con la ventaja competitiva de la empresa. Se pueden obtener relaciones a través de un modelo que permita determinar cuáles competencias centrales tienen mayor impacto en la obtención de rendimientos superiores.
ALVARADO, L. VARAS, M. SÁNCHEZ, L., 2009 CHILE (4)	Presentan un modelo de Gestión estratégica centrado en la gestión del capital intelectual, que contempla: Los recursos esenciales y las capacidades o competencias esenciales. Se presenta un modelo de gestión estratégica para empresas del sector construcción direccionada a la gestión de proyectos constructivos.	El trabajo presenta lo que puede ser un modelo de gestión que incluye el análisis, la formulación y la implementación de estrategias, basado en los recursos esenciales y las capacidades o competencias esenciales; factores internos de la empresa No se presenta la relación que existe entre capacidades esenciales y las ventajas competitivas que pueden generar las empresas y su impacto en la obtención de rendimientos superiores. No se determinan las relaciones que existen entre las condiciones externas e internas. Se pueden obtener relaciones a través de un modelo que permita determinar cuáles tienen mayor impacto en la obtención de rendimientos superiores.

OROZCO, F; SERPELL, A y MOLENAAR, K. 2011, CHILE (5)	Presentan los factores que determinan la competitividad de las compañías constructoras y los índices que la miden. Se desarrolló una clasificación de dichos factores que mayormente afectan la competitividad de sus compañías, y los índices que mejor reflejan su posición competitiva.	No se presenta la relación que existe entre los factores de competitividad y las capacidades esenciales, propias de la empresa. No se determinan las relaciones que existen entre las condiciones externas e internas. Se pueden obtener relaciones a través de un modelo que permita determinar cuales tienen mayor impacto en la obtención de rendimientos superiores.
MERCY NARVÁEZ, GLADYS FERNÁNDEZ, FRANKLIN REVILLA Y ALEXA SENIOR, 2005 VENEZUELA (6)	Analizan los factores claves de competitividad del sector. El análisis del sector permite determinar las posibilidades estratégicas para desarrollar la capacidad competitiva del mismo, conociendo las características y peculiaridades de dicho sector y de su entorno, así como las fuerzas fundamentales que ejercen influencia en el mismo. En el sector hay una marcada rivalidad entre las empresas que lo conforman y que compiten básicamente en aspectos tales como: precio de venta, costos de producción, calidad de los productos y servicios, y satisfacción al cliente. Además, se establece como propuesta asociaciones o alianzas de algunas de las empresas a través de la estrategia denominada "coopetencia", para de esta manera ofrecer respuesta conjunta a las amenazas, aprovechar mejor las oportunidades y fortalezas y por consiguiente desarrollar el sector de las PYMES.	Este estudio únicamente centra su mirada en las variables externas, y evalúa la capacidad competitiva del sector; presenta ausencias de las capacidades centrales de las empresas que conforman el sector y muestra solamente las variables del factor externo. No se presenta la relación que existe entre los factores de competitividad y las capacidades esenciales, propias de la empresa. No se determinan las relaciones que existen entre las condiciones externas e internas. Se pueden obtener relaciones a través de un modelo que permita determinar cuales tienen mayor impacto en la obtención de rendimientos superiores.
ALEXANDER STYHRE, PER-ERIK JOSEPHSON and INGEBORG KNAUSEDER SUECIA (7)	El estudio se basa principalmente a que los proyectos de construcción se ven afectados por los contactos informales y personales, en lugar de los sistemas de control de gestión basados en la información.	El estudio no contempla relaciones entre capacidades empresariales y ventajas competitivas y mucho menos el impacto de estas en la obtención de rendimientos superiores. Más bien muestra deficiencias o inclusive ausencia de un modelo que relacione las capacidades internas de las empresas con el entorno externo y su relación con el éxito competitivo empresarial.
SERDAR KALE AND ERKAN A. KARAMAN, 2011 TURQUÍA (8)	Consideran que las prácticas de gestión del conocimiento es uno de los retos más importantes que enfrentan las empresas en el entorno empresarial actual.	Los autores evalúan únicamente factores internos de las empresas y sus relaciones con las ventajas competitivas, existen ausencia de la evaluación de factores externos.

FRANCISCO GERARDO BARROSO TANOIRA, 2012	El autor incluye el factor “creatividad e innovación” para desarrollar ventajas competitivas, hacia el interior de las empresas constructoras, para subsistir en un entorno cada vez más competitivo y global.	Existe ausencia de las demás competencias internas de la empresa así como, de los factores externos.
MÉXICO (9)		De igual manera, no existe un modelo que relacione dichas variables.
ANTONIO ARAGÓN SÁNCHEZ, ALICIA RUBIO B., ANA MA. SERNA J., JUAN J. CHABLÉ SANGEADO, 2010	Proponen un modelo explicativo del éxito competitivo que integran dos enfoques teóricos: la influencia en el éxito competitivo de la estrategia empresarial y confirmar la influencia en el éxito competitivo de los recursos y capacidades y de su interacción con la estrategia empresarial.	Los autores incluyen en su modelo el logro del éxito competitivo a través de dos enfoques: estrategia empresarial y recursos y capacidades; ambos son factores internos, por lo que presenta ausencia de la relación que guardan los factores externos.
MÉXICO (10)		
CHRISTIAN L. CORREA VÍCTOR YEPES EUGENIO PELLICER 2007	Plantean incluir la gestión de la I+D+i en la construcción como otro proceso empresarial. Es otro modelo que pone la mirada en el factor innovación en el sector de la construcción.	Existe ausencia de las demás competencias internas de la empresa así como, de los factores externos.
REINO UNIDO (11)		De igual manera, no existe un modelo que relacione dichas variables.
ALVARADO ACUÑA, L. VARAS PARRA, M. SÁNCHEZ TRONCOSO.	Presentan un modelo de gestión estratégica basado en la gestión del capital intelectual, de las empresas, para lograr una efectiva formulación y análisis estratégico destinado a mejorar su posición competitiva.	Los autores evalúan únicamente factores internos de las empresas y sus relaciones con las ventajas competitivas, existen ausencia de la evaluación de factores externos. Se contempla la inclusión de las agrupaciones empresariales, siendo estas un factor externo.
2011		
CHILE (12)		
IVONNE ACOSTA CAMPOS MARÍA ELENA PÉREZ PRIETO	Identifican los factores endógenos que han influido en el desarrollo sustentable de las Pymes del subsector contratista.	Los autores evalúan únicamente factores internos de las empresas, existen ausencia de la evaluación de factores externos.
JUDITH HERNÁNDEZ DE VELAZCO, 2009	Los hallazgos encontrados revelan que los factores endógenos se ubican en las siguientes categorías: (a) económicos (b) financieros, (c) técnicos, (d) talento humano, (e) gerenciales.	También se percibe ausencia de un modelo que relacione los factores internos con el éxito competitivo y por supuesto de la consecución de resultados extraordinarios.
VENEZUELA (13)		
SAMSON, J. OCEN HENRY ALINAITWE DAN TINDIWENSI	Manifiestan que la tendencia en la industria de la construcción en Uganda, indicando que la construcción de casi todos los grandes proyectos no son ejecutados por contratistas de construcción locales (LCC), por su nivel de competitividad en el sector de la construcción.	Los autores presentan en este trabajo la “baja competitividad” que tienen las empresas constructoras de Uganda.
		No se manifiesta un modelo que pueda ser referencia de

ofrecen las empresas de la cadena productiva de la construcción, integrada por más de 37 ramas económicas.

Del total de las empresas mexicanas de la construcción el 95% de estas empresas son micro y pequeñas. Éstas, tienen un acceso mínimo a fuentes de financiamiento y a tasas razonables para consolidarse. Alrededor de 500 empresas cerraron a nivel nacional, debido la caída de 1.8% que experimentó el sector de la construcción durante el primer semestre del año, CMIC, (2013). Las PyMEs son muy susceptibles a cambios en la economía y, en particular, tienen vidas útiles muy cortas. Se estima que de las 200 mil empresas que anualmente abren en México, solamente 35 mil sobreviven dos años más tarde y 25% de las mismas tiene escasa posibilidad de desarrollarse (López-Acevedo et al. 2007). Por otro lado, la Secretaría de Economía estima que sólo 10% cuentan con alguna oportunidad de desarrollarse en la economía formal (Secretaría de Economía, 2008).

Como vemos, los ciclos de vida de las Pymes son muy cortos y sus esperanzas de desarrollarse son pocas. Las preguntas a contestar serían entonces: ¿Por qué unas empresas generan rentas mayores que otras, alargando sus ciclos de vida?, ¿por qué se produce esta alta desaparición o cierre de empresas en tan poco tiempo de operaciones?, ¿por qué unas empresas tienen alta participación relativa en el sector y otras no? Las respuestas a estas preguntas se dividen en dos grandes grupos con puntos de vista enfrentados. Los que dan los dueños de las PyMEs y las que ofrecen los analistas empresariales.

Para los primeros, las razones del alto índice de fracaso, su poca participación en el sector, su baja rentabilidad y por ende sus ciclos de vida cortos, las atribuyen a factores externos a las empresas (Figura 1), que actúan en el entorno económico-político-social; estos factores afectan en forma directa la operación de la organización y esta no puede evitar o modificar el impacto de los mismos, por lo tanto debe de desarrollar la capacidad, para responder y adaptarse a las nuevas circunstancias de su entorno, entre ellos están: escaso apoyo oficial, deficientes programas de ayuda a las PyMEs, pocas y alto costo de las fuentes de financiamiento disponibles, excesivos controles burocrático-gubernamentales, altas tasas impositivas, entre otros.

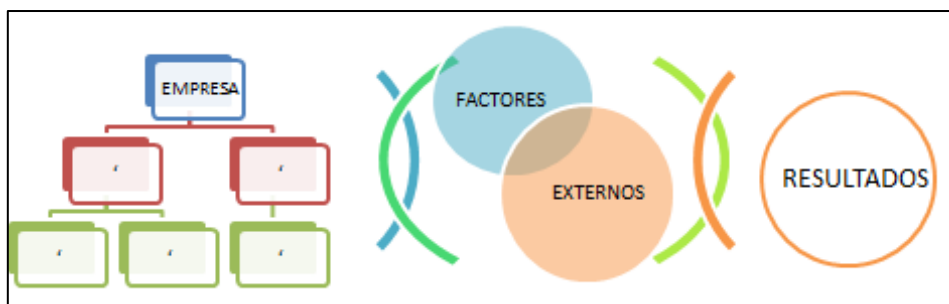


Figura 1 Resultados de las empresas dependientes de factores externos. Fuente: Elaboración Propia

Para los segundos, esta se sustenta en las capacidades empresariales internas de las empresas (Figura 2). Estas son inherentes a las actividades mismas que realiza la organización y por lo tanto, ella misma tiene las facultades para mejorar la presencia de estos elementos o en su caso implementarlos para optimizar su operación: capacidad de gestión de sus responsables, problemas de ventas, problemas de producción y operación, problemas para controlar, problemas en la planificación, problemas en la gestión, etc.



Figura 2 Resultados de las empresas dependientes de Capacidades Empresariales (factores internos). Fuente: Elaboración Propia

En el documento denominado “Infraestructura. El Proyecto que México Necesita”, CMIC, (2012) se menciona que las PyMEs del sector construcción, suelen presentar deficiencias en rubros de su administración. En específico presentan fallas en sus gobiernos corporativos, en la gestión de sus proyectos y en la planeación financiera que deciden adquirir para operar. Por otro lado, existe evidencia que sugiere que la principal causa del fracaso de las PyMEs mexicanas es la falta de conocimiento del mercado en el que se involucran (Vásquez, 2007).

Zevallos (2014), menciona que en un estudio llevado a cabo por la Fundación de Desarrollo Sostenible (FUNDES) en 2007, encontró que 43% de las PyMEs fracasa por errores administrativos y 24% por errores financieros en su primer año de gestión. (Figura 3),

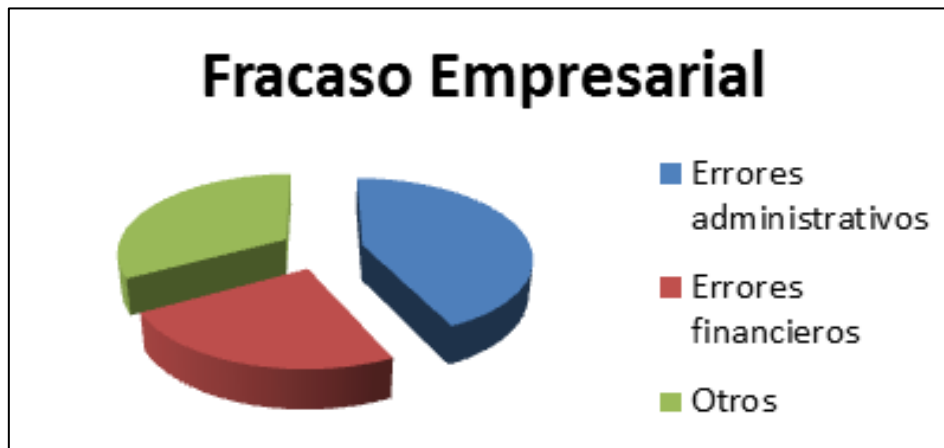


Figura 3 Fracaso empresarial en el primer año de gestión. Fuente: Elaboración propia, tomado de: Fundación de Desarrollo Sostenible (FUNDES) en 2007, citado por Zevallos 2014

Con la firma del Tratado de Libre Comercio (TLC) en México a mediados de la década de los 90's, las PyMEs de la construcción se vieron en la necesidad de implementar nuevas técnicas administrativas para mantener y mejorar su competitividad, tanto a nivel nacional como internacional, e incrementar su eficiencia (Delgado y Romero, 2009).

En un análisis del estado del arte de la industria de la construcción realizado en México, Robles et al. (2005), destaca que las condiciones del mercado no son favorables para propiciar crecimientos constantes y acelerados de las empresas en el ramo de la construcción, por lo que resulta importante contar con investigaciones que contribuyan a definir los factores críticos para que una constructora pueda tener éxito en los mercados actuales.

Conclusiones

Se puede concluir que los objetivos estratégicos que tienen las empresas son: la búsqueda y obtención del máximo beneficio (Rentas Diferenciales), incremento de la cuota de mercado e incremento de la productividad. La bibliografía presenta dos grandes ejes para explicar cómo lograrlo; el primero sostiene que las condiciones externas determinan la competitividad empresarial y el segundo, indica que las ventajas competitivas, se encuentran en la existencia, frente a sus competidores, de recursos críticos y capacidades distintivas, es decir, su relación es directamente con las condiciones internas.

La figura 4 recoge las ideas generales de estos dos grandes enfoques, el primero basado en las condicionantes del entorno, el segundo, centrado en las competencias internas de las empresas, sigue teniendo gran énfasis en la actualidad.

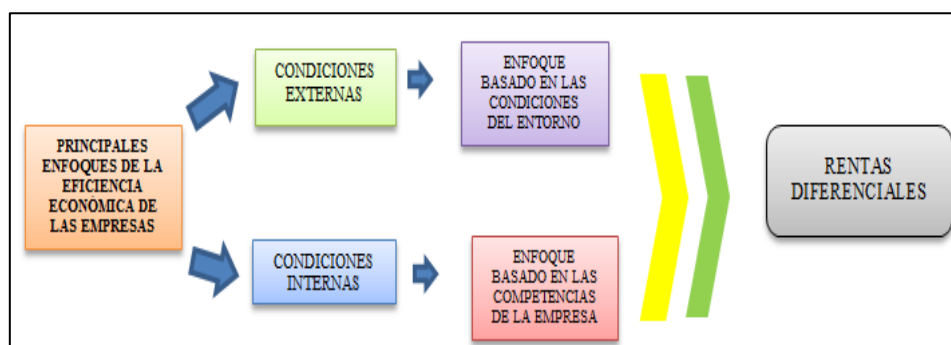


Figura 4 Enfoques teóricos vinculados a la eficiencia económica de las empresas. Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 2 se muestran las variables, dimensiones e indicadores que los autores han utilizado en sus diferentes estudios; la variable resultados diferenciales es citada por cinco autores y los dos enfoques rectores se presentan a continuación:

Enfoque basado en las condiciones del entorno

De acuerdo con esta perspectiva, 7 de los 15 autores manifiestan que el sector es el foco primario de las fuerzas competitivas y, su estructura y dinamismo, condicionan la conducta y actuación de las empresas que forman parte de él. Según este enfoque, las empresas tendrán éxito si se adaptan interna y externamente a los condicionantes del entorno. El Mercado y la Coopetencia son dos de las dimensiones tratadas específicamente.

En síntesis, el peso de la eficiencia económica gira alrededor de la generación de ventajas competitivas derivadas de una lectura adecuada del entorno.

Enfoque basado en las condiciones internas

La competitividad no se relaciona exclusivamente con factores del entorno, sino que depende, de los recursos y capacidades con que cuente la organización, donde se requiere de diferentes conocimientos para desarrollar las actividades de la empresa, y estas, no están disponibles para todas las empresas en las mismas condiciones, aspectos que explican las diferencias de rentabilidad entre las mismas, 11 de los 15 autores citados sostienen que las dimensiones que generan el éxito empresarial tienen que ver con la Tecnología y el Capital Humano.

De acuerdo a la clasificación anterior, es importante comentar que esta investigación pretende describir cómo y que competencias generan ventajas competitivas en las empresas del sector construcción, a fin de que estas obtengan rentas diferenciales (Figura 5). El objetivo es Diseñar

un Modelo Estratégico de Gestión de competencias empresariales y ventajas competitivas de las PyMEs del sector de la construcción en México, para evitar ciclos cortos de vida de las mismas.

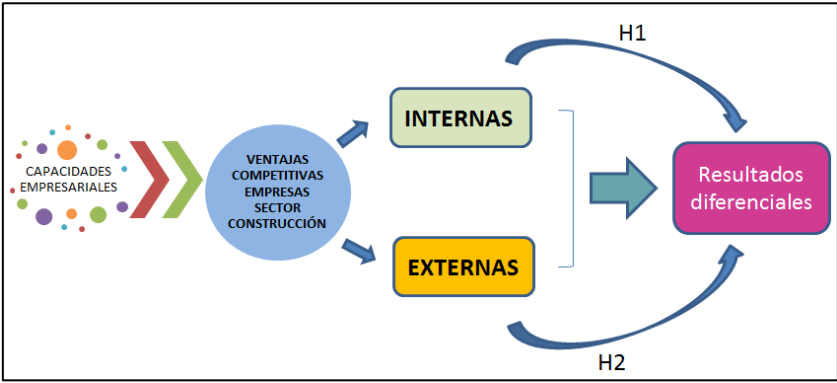


Figura 5 Relación capacidades empresariales-ventajas competitivas- rentas diferenciales.
Fuente: Elaboración propia

Tabla 2 Teorías que relacionan las capacidades empresariales y las ventajas competitivas en las empresas del sector construcción

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	AUTORES
Resultados diferenciales (REDI)	Capacidad para generar utilidades	Rentabilidad y productividad	(3) (5) (10) (12) (13)
	Administrar con eficiencia los recursos	Uso óptimo de los recursos	
INTERNAS Recursos diferenciales (RD) (1) (3) (4) (5) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (15)	Calidad	Planeación de la calidad	
		El costo de la no calidad	
		Estrategias para implementar la calidad	
	Tecnología	El aporte de la maquinaria para la operación de la empresa	
		Conocimiento actualizado tecnológicamente	(13)
		Innovación en los procesos	(9) (11)
	Capital humano	Experiencia del personal para realizar los trabajos y capacitación continua	(4) (8) (12) (13) (15)
		Motivación económica para el personal	
	Valores de la empresa	La responsabilidad de la empresa frente a sus clientes	
		Existencia de valores éticos en su actuar	

EXTERNAS Vínculos empresariales con el sector (VES) (1) (2) (3) (5) (6) (12) (13)	Mercado	La negociación para estar vigentes	(13)
		La capacidad para enfrentar a la competencia	
	Medioambiente	La existencia de la responsabilidad de la organización hacia el medio ambiente	
		Acciones para cuidar el medio ambiente	
	Normas y reglamentos técnicos	La seguridad de cumplir con las normas técnicas	
		El conocimiento de la normatividad y el reglamento que rigen sus actividades	
	Coopetencia		(6)

Referencias

Abu Hassan Abu Bakar, Wiwied Virgianti and Muhammad Asim Tufail, (2012). Knowledge Management Processes and Competitive Advantage in Construction Industry

Acosta, I., Pérez, M. y Hernández, J., (2009). Las pymes en el desarrollo del Subsector contratista de la economía social. Factores de éxito municipio Lagunillas del estado Zulia. NEGOTIUM Revista Científica Electrónica Ciencias Gerenciales / Scientific e-journal of Management Science PPX 200502ZU1950 / ISSN1856-1810 / By Fundación Unamuno / Venezuela / Redalyc, Latindex, Clase, Revencit, In-Com UAB

Alvarado, L., Varas, M., Sánchez, L. (2009). La Gestión Estratégica Aplicada al Sector Construcción: Una Propuesta Basada en Gestión de Capital Intelectual, Revista de la Construcción, Volumen 8 No.1 – 2009

Alvarado, L., Varas, M., Sánchez, L. (2011). Diseño de modelo de gestión estratégica aplicado al sector de la construcción: Impacto de las agrupaciones empresariales.

Álvarez, Ma. Competencias centrales y ventaja competitiva: el concepto, su evolución y su aplicabilidad, Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oaid=39520902>

Aragón, A., Rubio, A., Serna A., Chablé, J. (2010). Estrategia y competitividad empresarial: Un estudio en las MiPyMEs de Tabasco Investigación y Ciencia, vol.18, núm. 47, abril, 2010.

Barroso, F. (2012). Importancia y aplicaciones de los conceptos de la creatividad en empresas constructoras.

Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC), Compendio Económico Mexicano de la Industria de la Construcción, Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, vol. 1, 2012

Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC). "Infraestructura. El Proyecto que México Necesita", CMIC, (2012)

Correa, C., Yepes, V. y Pellicer, E. (2007). Factores determinantes y propuestas para la gestión de la innovación en las empresas constructoras

de Haan, J., Voordijk H. and Joosten G. (2002). Market strategies and core capabilities in the building industry. Construction Management and Economics (2002)

Delgado H. y Romero A. Satisfacción de los clientes en el sector vivienda de interés social: el caso del Valle de Toluca. Construyendo México, volumen 2 (número 10), octubre de 2009.

Green, S., Larsen G. and Chung-Chin Kao. (2008). Competitive strategy revisited: contested concepts and dynamic capabilities. Construction Management and Economics (January 2008)

Hamel, G. and Prahalad C. Competing for the Future

Kale, S. and Karaman, E. (2011). Evaluating the Knowledge Management Practices of Construction Firms by Using Importance–Comparative Performance Analysis Maps. Journal of Construction Engineering and Management © Asce / December 2011

López-Acevedo, G., Tan, H., Flores, R., Rubio S., Slota, E., Tinajero, M., Beker, G. Evaluando los programas de apoyo a las pequeñas y medianas empresas en México, Banco Mundial, 2007, Washington.

Narváez, M., Fernández, G., Revilla, F. y Senior, A. (2005). Análisis de competitividad en las PYMES del sector petrolero de la Península de Paraguaná.

Ocen, S., Alinaitwe, H. and Tindiwensi D., (2010). An Analysis of the Competitiveness of Local Construction Contractors in Uganda

Orozco, F; Serpell, A. y Molenaar, K. (2011). Factores e índices de competitividad para las compañías constructoras: resultados en Chile. Revista de la Construcción [online]. 2011, vol.10, n.1, pp. 91-107. ISSN 0718-915X. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2011000100009>

Porter, M.E. (1990). *The Competitive Advantage of Nations*. Free Press, New York.

Robles, B., Arredondo, R., Romero C., Frutis, E., Sánchez, G., Palacios, B., Torres, M. El Estado de la Industria de la Construcción en México, 1a ed., México DF, Fundación ICA, 2005

Secretaría de Economía, SE (2008). Documento Informativo sobre las Pequeñas y Medianas Empresas en Vásquez, R., 2007, México.

Styhre, A., Josephson, P. and Knauseder, I. Learning capabilities in organizational networks: case studies of six construction projects

Zevallos, Emilio, Restricciones del entorno de la competitividad empresarial en América Latina, FUNDES, 2007 (DE, 14 de marzo, 2012: <http://www.fundes.org/uploaded/content/publicacione/1926155859.pdf>).

Primer autor-ENVIADO 1

Journal of Energy, Engineering Optimization and Sustainability (JEEOS). Revista Multidisciplinaria arbitrada por la División Académica de Ingeniería y Arquitectura (DAIA) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT)

APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN MONTECARLO PARA LA OBTENCIÓN DE PROBABILIDADES DE DESBORDAMIENTO DE UN RIO DE PLANICIE.

APPLICATION OF THE MONTECARLO SIMULATION FOR OBTAINING PROBABILITIES OF OVERFLOW OF A PLANICIE RIVER.

Miguel Ángel Balladares Sánchez^{1*}, Beatriz Pico González², Anayansi Careta Isordia³

¹ Estudiante Doctoral. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ingeniería y Arquitectura, carretera Cunduacán-Jalpa KM. 1, Col. La Esmeralda, Cunduacán, Tabasco, México CP. 86690. Correo: miguel.balladares@ujat.mx

^{2,3} Profesor Investigador de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

RESUMEN

Conocer las probabilidades de desbordamiento de un cuerpo de agua es vital para alimentar modelos probabilísticos. En casos de riesgo por inundación, estos modelos sirven de apoyo en la toma de decisiones. Se calcularon probabilidades de desbordamiento de un río de planicie aplicando simulación Montecarlo a partir de un evento conocido. La aplicación del método permitió calcular la probabilidad de desbordamiento hasta cinco días previos al suceso. El estudio se aplicó a un escenario de inundación ocurrido en la ciudad de Villahermosa Tabasco, México en 2007. Los resultados muestran la versatilidad del método al permitir introducir al cálculo de las probabilidades diferentes criterios de precisión.

Palabras clave: **decisiones, inundación, probabilidad y simulación.**

ABSTRACT

To know the overflow probabilities of a body of water is of vital importance to feed probabilistic models that help the decision making process in case of flood risk. Overflow probabilities of a plain river were generated using Montecarlo simulation based on a known event. The method application allow to calculate the overflow probability up to five days prior to the event. It was applied in a flood scenario that occurred in the city of Villahermosa Tabasco, México in 2007. The results show the versatility of the method allowing to introduce different precision criteria to the probability calculation.

Keywords: **decisions, flooding, probability, simulation.**

INTRODUCCIÓN

En situaciones de riesgo, resulta primordial apoyar las decisiones generando información básica del evento como son los costos y las probabilidades de ocurrencia. En el caso de inundaciones, en donde se dan evacuaciones de lento desarrollo, decidir el momento idóneo para evacuar una población en riesgo tiene implicaciones económicas que dependen en primer lugar, del tiempo que las personas estarán fuera del área afectada, es decir, a mayor tiempo, mayores costos derivarán de la manutención y resguardo que los organismos oficiales de ayuda tendrán que disponer para solventar las necesidades básicas de las personas evacuadas [1 y 2]. Por otra parte, retardar demasiado la evacuación implica mayores posibilidades de pérdidas humanas y mayores daños. Adicionalmente, evacuar una población y que el

evento no suceda, tiene implicaciones sociales no deseables [3]. Ante tal problema de decisión conocer las probabilidades de inundación y los costos implicados ante los dos escenarios potenciales, es de vital importancia.

Los eventos de inundaciones tienen presencia a nivel mundial y generalmente tienen una mayor concentración en llanuras costeras, las cuales están irrigadas por ríos de planicie y son ricas en flora, fauna y otros recursos como petróleo y gas; mucha población emigra hacia estas zonas en busca del desarrollo [4 y 5]. Se carece de obras de protección complejas y si existen solo protegen ciertas zonas de interés establecidas por su importancia económica y estratégica para sostener ciertas actividades económicas como serían aquellas que se derivan de la explotación de petróleo y gas natural [6]. Cuando ocurren desbordamientos naturales en estas regiones generalmente los daños son cuantiosos [7 y 8]. Mitigar los daños por estos fenómenos requiere de acciones estructurales y no estructurales [2]. La disposición de información al momento de decidir el curso de acción en situaciones de desastre juega un papel importante en la reducción de las pérdidas humanas y económicas. Debido a esto, se han desarrollado investigaciones que permiten predecir la ocurrencia de las inundaciones, con la finalidad de tener un mayor conocimiento de las mismas y entregar datos para los sistemas de alerta. Los autores Tucci y Collischonn (2006) en [9], mencionan que la predicción de desbordamientos se ha convertido en un activo social y económico importante en la gestión de recursos hídricos; de tal manera que los modelos matemáticos cobran una gran importancia, constituyendo una forma de resolver los problemas hídricos teóricos [10]. En el análisis de escurrimientos, muchas de las predicciones que se realizan dependen de enlaces muy simples, los cuales se establecen

empíricamente entre la variable observada y una variable de la que existe interés en predecir [11]. En este marco, son útiles los métodos para predecir la ocurrencia de las inundaciones a través de modelos matemáticos, obtenidos a partir de análisis estadísticos [12]. Un método estadístico utilizado como apoyo para calcular la probabilidad de desbordamiento es el método Montecarlo, el cual permite resolver problemas físicos y matemáticos mediante la simulación de variables aleatorias.

La generación de probabilidades de desbordamiento de diques apoyada por simulación estadística Montecarlo ha sido empleada con regularidad para desarrollar diversos modelos [13 y 14]. No obstante, en la definición de estas probabilidades se consideran diversas formas de falla y las características geométricas y constructivas de los diques [15 y 16]. Sin embargo, el desbordamiento de ríos de planicie en países en desarrollo, está determinado por situaciones menos complejas dado que en las llanuras costeras normalmente se carece de obras marginales sofisticadas y el desbordamiento se circunscribe al rebosamiento de los bordos naturales de los cauces. El desarrollo de modelos aplicados a este tipo de desbordamiento ha sido abordado con menor intensidad [17, 18 y 19].

En esta investigación se aplica la simulación estadística Montecarlo para generar las probabilidades de desbordamiento de un río de planicie a partir de la distribución Normal de los tirantes de un evento conocido. Mediante la aplicación de la simulación estadística descrita se generaron probabilidades para horizontes de planificación de cinco, cuatro, tres, dos y un día de anticipación al evento. Los resultados de su aplicación en el cálculo de las probabilidades de desbordamiento, apoyará la toma de decisiones y aportará a

la socialización de estos procesos en las instancias gubernamentales de auxilio a la población en caso de desastres.

Hipótesis: es factible determinar las probabilidades de desbordamiento de un río de planicie mediante Simulación estadística Montecarlo para diferentes horizontes de planificación y grados de precisión para apoyar decisiones bajo riesgo.

DESARROLLO DE LA TEORÍA

Aspectos generales

Las inundaciones y los problemas derivados de estos eventos naturales, se incrementan de forma paralela al crecimiento poblacional y económico en las ciudades, ocasionando un incremento en las condiciones de vulnerabilidad y los costos en situaciones de emergencia [20]. La mayoría de las inundaciones ocurren en zonas planas y/o cercanas a los cauces de los ríos [21]. Esto sucede cuando el agua supera los bordos naturales del cauce y cubren zonas aledañas a éste durante un cierto tiempo [22]. Para los casos específicos de desbordamientos de ríos de planicie el mejor criterio para determinar la probabilidad de inundación, se basa en la probabilidad de que el nivel del río (h) sobrepase el nivel de la cresta más alta (h_{cr}) del bordo del río (overtopping). [23](Ver Figura 1).

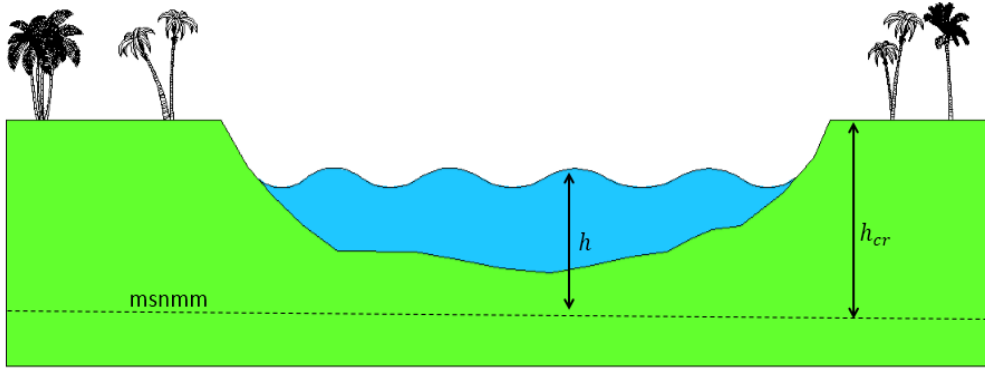


Figura 1. Nivel natural de un cauce natural de río de planicie referido a h , h_{cr} en metros sobre el nivel medio del mar (msnmm).

Para el caso de un dique o bordo, la función de confiabilidad (Z) se define como

$$Z = h_{cr} - h \quad (1)$$

La probabilidad de falla o desbordamiento (P_f) es

$$P_f = P(Z \leq 0) = P(h \geq h_{cr}) \quad (2)$$

$$P(Z > 0) = 1 - P_f \quad (3)$$

La probabilidad de inundación (o probabilidad de falla) se puede resumir como

$$P_f = P(Z \leq 0) = P(h \geq h_{cr}) = \int_{h_{cr}}^{\infty} f(h)dh \quad (4)$$

Donde:

$f(h)$ es la función de distribución probabilística del nivel del agua (h)

Por lo tanto la probabilidad de inundación, entendida que ésta ocurre cuando un dique o bordo falla por la condición $h_{cr} - h \leq 0$, obtenida de la predicción de h , queda como sigue

$$P_{f/h_{pred}} = \int_{h_{cr}}^{\infty} f(h/h_{pred}) dh = 1 - F(h/h_{pred}) \quad (5)$$

Donde

$f(h/h_{pred})$ es la función de distribución probabilística del nivel del agua h , obtenida de la predicción de la misma (h_{pred})

$F(h/h_{pred})$ es la función de probabilidad acumulada del nivel del agua h , obtenida de su predicción h_{pred}

Procedimiento de obtención de la probabilidad

En primera instancia es necesario contar con los registros de los tirantes o niveles de agua h que hayan rebasado el nivel del bordo o dique y que hayan provocado una inundación histórica. Ello permite obtener una distribución probabilística representativa; para el caso de estudio se usaron los datos de un evento conocido (inundación de 2007 en Villahermosa, Tabasco, México) y la distribución Normal [24].

La función de probabilidad acumulada de $(\Delta h)_{pred}$, como una función del tiempo de predicción distribuida normalmente se indica en la ecuación (6) y representa la solución numérica de la ecuación (5) .

$$f \left((\Delta h)_{pred}(t_j) \right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\Delta h}(t_j)} \exp \left(-\frac{\left((\Delta h)_{pred} - \mu_{\Delta h}(t_j) \right)^2}{2\sigma_{\Delta h}(t_j)^2} \right) \quad (6)$$

Donde $f(\Delta h)_{pred}t_j$ es la función de probabilidad acumulada de $(\Delta h)_{pred}$ como función del tiempo $t_j[-]$ y

$(\Delta h)_{pred}$ Grado de precisión ([cm])

$\mu_{\Delta h}$ (bias) Sesgo de Δh [cm]

$\sigma_{\Delta h}$ (r.m.s.) Desviación estándar de Δh [cm]

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio, escenario de inundación

En esta sección se aplicará simulación estadística Montecarlo para apoyar la determinación de las probabilidades de desbordamiento de un río de planicie. El área seleccionada se denomina Distrito I, de la ciudad de Villahermosa Tabasco, México con una superficie de 136.7 hectáreas [25] y una población de 20 000 habitantes ubicadas en zonas de riesgo alto, medio y bajo de acuerdo al Atlas de Riesgo del lugar.

El escenario de inundación o evento histórico seleccionado es similar al ocurrido en Villahermosa Tabasco en el año 2007 en el cual se vieron afectadas aproximadamente 12,513 personas [26]. Este escenario se asocia a un periodo de retorno de cien años ($Tr = 100$). Los datos que se tomaron para efectos de determinar las probabilidades de desbordamiento, tienen su origen en el registro histórico de la estación hidrométrica “Gaviotas II” ubicada a 200 m aguas arriba de la zona de estudio (Figura 2). Para efectos de cálculo de las probabilidades se consideró (tomando en cuenta las versiones periodísticas de la fecha) que el punto de desbordamiento ocurrió en el malecón de la ciudad en la cota 7.50 mts sobre el nivel medio del mar (msnmm), la cual se toma como el valor h_{cr} .



Figura 2. Área de estudio y zona afectada. Adaptada de Google Earth.

Características del evento

En el año 2007, el estado de Tabasco, en México, sufrió la inundación más grave de los últimos cincuenta años [27], originado por la presencia de la tormenta tropical Noel y el frente frío proveniente de los Estados Unidos de América de acuerdo a lo documentado en el Sistema Meteorológico Nacional (2008) [28] presentado en el periodo del 29 de octubre al 1° de noviembre. Como consecuencia, en sólo cuatro días se registró en la región una precipitación equivalente a la de un año [29]. Estas precipitaciones ocasionaron el desbordamiento de los ríos de la zona ocasionando cuantiosos daños a la infraestructura del estado de Tabasco [30].



Figura 3. Foto de la afectación de la inundación de 2007 (Tomada de ERN, 2007).

Aplicación de la simulación estadística

Con el fin de determinar las probabilidades de desbordamiento se evaluaron diferentes escenarios hasta cinco días previos mediante la aplicación de la simulación estadística; para cada escenario de predicción se generaron datos sintéticos de predicción necesarios para el estudio (ver Tabla 1), a partir de estos datos de predicción para cada día se obtuvo la *media aritmética* (bias Δh) y la *desviación estándar* (r.m.s. Δh) asociadas a un número de datos ($n=25$) (ver Tabla 2). Los datos generados asocian el gasto y el tirante, cada vez que se requiera determinar la probabilidad del desbordamiento como el estudio realizado por Barendregt (2002) en [31], en el que evaluaron los fallos y el grado de previsibilidad de una manera cualitativa con respecto a los diques en Holanda, al predecir el fallo con días de anticipación. También se definieron los intervalos de precisión antes del umbral de desbordamiento (h_{cr}) necesarios para cada día de acuerdo a la evolución de los tirantes observado en el punto

para el cual se requiere calcular la probabilidad de desbordamiento. Estos intervalos pueden ser definidos por los comités intergubernamentales de decisión que normalmente toman el control de la situación cuando se avecina un evento de este tipo.

Tabla 1. Simulación para cinco días previos, aplicando simulación estadística Montecarlo a partir de los niveles de agua medidos en el punto de desbordamiento ($h_{cr} = 7.50$ m).

Fecha		5 días de predicción			4 días de predicción			3 días de predicción			2 días de predicción			1 día de predicción		
Date	Water level	Date	Water level	Δh	Date	Water level	Δh	Date	Water level	Δh	Date	Water level	Δh	Date	Water level	Δh
[dd-mm-yy]	[m+NAP]	[dd-mm-yy]	[m+NAP]	[m]	[dd-mm-yy]	[m+NAP]	[m]	[dd-mm-yy]	[m+NAP]	[m]	[dd-mm-yy]	[m+NAP]	[m]	[dd-mm-yy]	[m+NAP]	[m]
21/10/2007	5.45										19/10/2007	4.96	0.49	20/10/2007	5.1	0.35
22/10/2007	5.46							19/10/2007	5.55	-0.09	20/10/2007	4.76	0.7	21/10/2007	5.67	-0.21
23/10/2007	5.41				19/10/2007	5.37	0.04	20/10/2007	5.25	0.16	21/10/2007	5.17	0.24	22/10/2007	5.24	0.17
24/10/2007	5.69	19/10/2007	5.26	0.43	20/10/2007	5.82	-0.13	21/10/2007	5.7	-0.01	22/10/2007	5.74	-0.05	23/10/2007	6.11	-0.42
25/10/2007	5.92	20/10/2007	5.38	0.54	21/10/2007	5.9	0.02	22/10/2007	5.76	0.16	23/10/2007	6.04	-0.12	24/10/2007	6.36	-0.44
26/10/2007	6.1	21/10/2007	5.94	0.16	22/10/2007	6	0.1	23/10/2007	5.95	0.15	24/10/2007	6.23	-0.13	25/10/2007	5.83	0.27
27/10/2007	6.22	22/10/2007	6.26	-0.04	23/10/2007	6.5	-0.28	24/10/2007	6.25	-0.03	25/10/2007	6.16	0.06	26/10/2007	6.55	-0.33
28/10/2007	6.26	23/10/2007	6.36	-0.1	24/10/2007	6.67	-0.41	25/10/2007	6.4	-0.14	26/10/2007	6.29	-0.03	27/10/2007	6.42	-0.16
29/10/2007	6.54	24/10/2007	6.63	-0.09	25/10/2007	6.69	-0.15	26/10/2007	6.73	-0.19	27/10/2007	6.91	-0.37	28/10/2007	6.78	-0.24
30/10/2007	6.77	25/10/2007	6.74	0.03	26/10/2007	6.97	-0.2	27/10/2007	6.9	-0.13	28/10/2007	6.64	0.13	29/10/2007	6.76	0.01
31/10/2007	7.15	26/10/2007	7.16	-0.01	27/10/2007	7.17	-0.02	28/10/2007	7.17	-0.02	29/10/2007	7.19	-0.04	30/10/2007	7.18	-0.03
01/11/2007	7.64	27/10/2007	7.69	-0.05	28/10/2007	7.62	0.02	29/10/2007	7.68	-0.04	30/10/2007	7.66	-0.02	31/10/2007	7.65	-0.01
02/11/2007	7.81	28/10/2007	7.76	0.05	29/10/2007	7.73	0.08	30/10/2007	7.93	-0.12	31/10/2007	7.85	-0.04	01/11/2007	7.87	-0.06
03/11/2007	7.73	29/10/2007	7.76	-0.03	30/10/2007	7.74	-0.01	31/10/2007	7.77	-0.04	01/11/2007	7.78	-0.05	02/11/2007	7.77	-0.04
04/11/2007	7.51	30/10/2007	7.51	0	31/10/2007	7.51	0	01/11/2007	7.51	0	02/11/2007	7.51	0	03/11/2007	7.51	0
05/11/2007	7.19	31/10/2007	7.23	-0.04	01/11/2007	7.21	-0.02	02/11/2007	7.22	-0.03	03/11/2007	7.17	0.02	04/11/2007	7.15	0.04
06/11/2007	6.92	01/11/2007	7.05	-0.13	02/11/2007	6.96	-0.04	03/11/2007	6.91	0.01	04/11/2007	7.02	-0.1	05/11/2007	7.03	-0.11
07/11/2007	6.7	02/11/2007	6.82	-0.12	03/11/2007	6.65	0.05	04/11/2007	6.64	0.06	05/11/2007	6.77	-0.07	06/11/2007	6.81	-0.11
08/11/2007	6.5	03/11/2007	6.44	0.06	04/11/2007	6.58	-0.08	05/11/2007	6.68	-0.18	06/11/2007	6.55	-0.05	07/11/2007	6.25	0.25
09/11/2007	6.34	04/11/2007	6.54	-0.2	05/11/2007	5.96	0.38	06/11/2007	6.23	0.11	07/11/2007	5.98	0.36	08/11/2007	6.1	0.24
10/11/2007	6.22	05/11/2007	6.34	-0.12	06/11/2007	6.23	-0.01	07/11/2007	6.43	-0.21	08/11/2007	6.68	-0.46	09/11/2007	6.32	-0.1
11/11/2007	6.06	06/11/2007	6.14	-0.08	07/11/2007	6.61	-0.55	08/11/2007	6.21	-0.15	09/11/2007	6.29	-0.23	10/11/2007	6.16	-0.1
12/11/2007	5.89	07/11/2007	5.39	0.5	08/11/2007	6.08	-0.19	09/11/2007	5.6	0.29	10/11/2007	5.73	0.16	11/11/2007	5.75	0.14
13/11/2007	5.66	08/11/2007	6.32	-0.66	09/11/2007	5.85	-0.19	10/11/2007	5.38	0.28	11/11/2007	5.14	0.52	12/11/2007	5.77	-0.11
14/11/2007	5.46	09/11/2007	5.78	-0.32	10/11/2007	6.13	-0.67	11/11/2007	6.3	-0.84	12/11/2007	5.49	-0.03			
15/11/2007	5.23	10/11/2007	5	0.23	11/11/2007	5.84	-0.61	12/11/2007	5.63	-0.4						
16/11/2007	5.03	11/11/2007	4.34	0.69	12/11/2007	5.2	-0.17									
18/11/2007	4.78	12/11/2007	4.81	-0.03												
		bias Δh [m]			bias Δh [m]			bias Δh [m]			bias Δh [m]			bias Δh [m]		
		0.028			-0.121			-0.056			0.035			-0.052		
		r.m.s. Δh [m]			0.283			0.227			0.262			0.21		

A continuación, en la tabla 2, se presentan los datos obtenidos a partir de la Tabla 1.

Tabla 2. Datos obtenidos de la simulación para días cinco de predicción.

Modelo de predicción	Tiempo de espera de predicción (j)				
	5 días	4 días	3 días	2 días	1 día
Río de planicie (Grijalva)	bias $\Delta h = 2.8$ cm	bias $\Delta h = -12.1$ cm	bias $\Delta h = -5.6$ cm	bias $\Delta h = 3.5$ cm	bias $\Delta h = -5.2$ cm
	r.m.s. $\Delta h = 28.3$ cm	r.m.s. $\Delta h = 23.8$ cm	r.m.s. $\Delta h = 22.7$ cm	r.m.s. $\Delta h = 26.2$ cm	r.m.s. $\Delta h = 21$ cm
	n = 25	n = 25	n = 25	n = 25	n = 25

Luego las probabilidades de inundación a 5 días previos, considerando diferentes niveles de precisión se obtienen de sustituir en la ecuación (6) los valores mostrados en la tabla 2 y los valores de precisión establecidos en la tabla 3.

Tabla 3. Precisión establecida para los días de simulación.

Tiempo de predicción (días)	Precisión deseada Δh (cm)
5	50
4	35
3	26
2	18
1	7

Las probabilidades para cinco días previos se presentan a continuación en la Tabla 4. Para esta condición se establece que $\mu(t_j)=0$, en virtud de que el modelo se basa en la espera de que, de manera central la diferencia entre el

nivel del río (h) y el nivel de la cresta más alta (h_{cr}), sea 0, como se deduce en la ecuación (1).

Tabla 4. Probabilidades de inundación para cinco días previos y diferentes grados de precisión del cálculo

Tiempo de espera de predicción (j) [días]	h_{cr} [cm + NAP]	$\mu (t_j)$ [cm]	$\sigma (t_j)$ [cm]	Δh_{cr} [cm]	P_f [-]
5	750	0	28.28	50	0.039
4	750	0	23.8	35	0.071
3	750	0	22.7	26	0.126
2	750	0	26.2	18	0.246
1	750	0	21.0	7	0.369

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Determinar las probabilidades hasta cinco días antes de un posible suceso, se presenta aquí como un ejercicio para ejemplificar el método. Sin embargo, en escenarios reales, el punto crítico de decisión se da generalmente entre los días tres y dos antes de cualquier evento. Lo anterior puede entenderse desde dos vertientes: en primer lugar, los pronósticos o las probabilidades de que suceda un evento natural pueden cambiar de un día para otro [32]. Por otra parte, de acuerdo a la experiencia internacional, cinco y cuatro días son más que suficientes para evacuar sin contratiempos. En la mayoría de los casos se puede decidir *retardar* la evacuación uno o dos días a partir del día cinco en espera de mayor información [33].

Por otra parte, de acuerdo a los resultados mostrados en la tabla 4, las probabilidades del suceso aumentan conforme disminuye el intervalo de días previos al evento. Esto es natural en el cálculo de las probabilidades con márgenes de precisión cerrados. Debe recordarse que estos márgenes dependen del criterio de los comités de decisión y su virtual aversión o costumbre para manejar el riesgo. No obstante, otras posibilidades de análisis nos pueden conducir a considerar intervalos de precisión más holgados y continuos durante los días previos, se muestra a continuación:

Tabla 5. Precisión (20 cm.) establecida para cuatro días de simulación

Tiempo de predicción (días)	Precisión deseada Δh (cm)
4	20
3	20
2	20
1	20

Las probabilidades para este intervalo de precisión de 20 cm. Queda como se muestra a continuación:

Tabla 6. Probabilidad obtenida para cuatro días y 20 cm. De precisión

Para cuatro días de anticipación	h_{cr} [cm + Nap]	$\mu (t_i)$ [cm]	$\sigma (t_i)$ [cm]	Δh_{cr} [cm]	$P_f [-]$
4	750	0	23.8	20	0.200
3	750	0	22.7	20	0.189

2	750	0	26.2	20	0.223
1	750	0	21.0	20	0.170

Este resultado nos llevaría a reconsiderar cualquier decisión en términos del primer cálculo de probabilidades mostrados en la tabla 4.

Sea cual sea el criterio adoptado, la probabilidad calculada puede emplearse para alimentar modelos de apoyo a las decisiones desde los modelos muy simples como las tablas de pago [34] hasta los más complejos como los árboles de decisión propuestos por Clement (1995) en [35].

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados mostrados mediante el caso de aplicación, resulta factible calcular la probabilidad de desbordamiento de un río de planicie a partir de los registros de un evento conocido aplicando la generación sintética de datos mediante simulación Montecarlo. Las probabilidades de desbordamiento varían de forma considerable cuando se consideran diferentes criterios de precisión, demostrando que el método es bastante adaptable a los criterios de los comités de decisión.

La presente investigación abre la posibilidad de profundizar en el estudio de las decisiones bajo riesgo y muestra una aplicación simple de la generación sintética de datos mediante simulación Montecarlo.

REFERENCIAS

- [1]. **Baró-Suárez, J. E., Díaz-Delgado, C., Esteller-Alberich, M. V. & Calderón, G.,** (2007). Curvas de daños económicos provocados por inundaciones en zonas habitacionales y agrícolas de México. Parte II: caso de estudio en la cuenca alta del río Lerma, México.. *Ingeniería hidráulica en México*, 22(3), pp. 71-85.
- [2]. **Ynestroza, M. Á. P. & Rojas, I. C. L.,** (2009). Metodologías para cuantificar el riesgo de inundación en planicies inundables. *Revista de Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 30(3), pp. 11-20.
- [3]. **Vergara Tenorio, M. d. C. et al.,** (2011). La conceptualización de las inundaciones y la percepción del riesgo ambiental. *Política y cultura*, Volume 36, pp. 45-69.
- [4]. **Tockner, K. & Stanford, J. A.,** (2002). Riverine flood plains: present state and future trends. *Environmental conservation*, 29(03), pp. 308-330.
- [5]. **Montoya, J. V., Castillo, M. M. & Sanchez, L.,** (2011). The importance of periodic floods for the functioning and conservation of large tropical floodplain rivers: studies from the orinoco basin.. *nterciencia*, 36(12), pp. 900-907.
- [6]. **Acinas Acinas, M.,** (2007). Información a la población en situaciones de emergencia y riesgo colectivo. *Psychosocial Intervention*, 16(3), pp. 303-321.
- [7]. **Garnica Peña, R. J. & Alcántara Ayala, I.,** (2004). Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz. *Investigaciones geográficas*, Volume 55, pp. 23-45.
- [8]. **Tanako, T.,**(2012). BM pide abrir presupuestos a desastres. *Recuperado el 6 de abril de 2014, de CNexpansión: [http:// www.cnnexpansion.com/economia/2012/06/16/bm-pide-abrir-presupuestos-a-desastres](http://www.cnnexpansion.com/economia/2012/06/16/bm-pide-abrir-presupuestos-a-desastres).*

- [9]. **Tucci, C. & W., C.**, (2006). Predicción de crecidas. *Boletín de la Organización Meteorológica Mundial*, 55(3), pp. 179-184.
- [10]. **Cea, L., Vázquez-Cendón, M. E. & Puertas, J.**, (2008). Modelación matemática en lecho fijo del flujo en ríos. Modelos 1D y 2D en régimen permanente y variable. *Jornadas Técnicas sobre Hidráulica Fluvial, CEDEX–Ministerio de Fomento*.
- [11]. **OMM**, (1994). Guía de Prácticas hidrológicas. Consultado el 25 de abr. 2009. http://www.bom.gov.au/hydro/wr/wmo/guide_to_hydrological, Quinta edición (168), pp. . CAPÍTULO 41:581-617.
- [12]. **Kalyanapu, A. J., Judi, D. R., McPherson, T. N. & Burian, S. J.**, (2012). Monte Carlo-based flood modelling framework for estimating probability weighted flood risk. *Journal of Flood Risk Management*, 5(1), pp. 37-48.
- [13]. **Vrijling, J. K., Vrouwenvelder, A. C. W. M., Jonkman, I. S. & de Bruijn, I. K.**, (2003). Probabilistic risk assessment of a system of dike ring areas.
- [14]. **Van Looveren, R. G. T., Blanckaert, J., Verelst, K. & Peeters, P.**, (2016). Estimating probability of dike failure by means of a Monte Carlo approach. *Sustainable Hydraulics in the Era of Global Change*, pp. 896-903.
- [15]. **Möllmann, A. F. D. & Vermeer, P. A.**, (2007). Reliability analysis of a dike failure. *In Proceedings of the 18th European Young Geotechnical Engineers' Conference*.
- [16]. **Naulin, M. K. A. & Oumeraci, H.**, (2011). Failure probability of flood defence structures/systems in risk analysis for extreme storm surges. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(32), p. 13.
- [17]. **Huthoff, F. & Stijnen, J. W.**, (2005). Efficiency of emergency retention areas along the river Rhine: Monte Carlo simulations of a 1D flow model. *ISSH - Stochastic Hydraulics 2005 - 23 and 24 May 2005 - Nijmegen - The Netherlands*, 2005(23).

- [18]. **Natale, L. & Savi, F.,** (2007). Monte Carlo analysis of probability of inundation of Rome. *Environmental Modelling & Software*, 22(10), pp. 1409-1416.
- [19]. **Charalambous, J., Rahman, A. & Carroll, D.,** (2013). Application of Monte Carlo simulation technique to design flood estimation: a case study for North Johnstone River in Queensland, Australia. *Water resources management*, 27(11), pp. 4099-4111.
- [20]. **Fokkens, B.,** (2005). The dutch strategy for safely and river flood prevention, institute for inland water management and water treatment, the Netherlands.
- [21]. **OMM, O. M. M.,** (2006). Aspectos ambientales de la gestión integrada de crecidas. APFM Documento Técnico N°3. Serie políticas de gestión de crecidas.
- [22]. **CENAPRED, C. N. d. P. d. D.,** (2001). *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México, Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana*. México. ISBN: 970-628-593-8: s.n.
- [23]. **TU Delft,** (2004). Probabilistic Evacuation Decision model for River Floods in the Netherlands. *Delft university of technology Faculty of Civil Engineering and Geosciences*.
- [24]. **Azofeifa, C. E.,** (2004). Aplicación de la Simulación Monte Carlo en el cálculo del riesgo usando Excel. *Tecnología en Marcha*, 17(1), pp. 97-109.
- [25]. **CENTRO, M.,** (2009). *Atlas de Riesgo del Municipio del Centro*. [Online]
Available at:
WWW.VILLAHERMOSA.GOB.MX/PROTECCIONCIVIL/ATLAS_DE_RIESGO.PD
[Accessed Villahermosa: SEDESOL. Recuperado el 10 de octubre de 2013].
- [26]. **CEPC-TABASCO,** (2014). [HTTP://PROTECCIONCIVIL.TABASCO.GOB.MX/](http://PROTECCIONCIVIL.TABASCO.GOB.MX/).
[Online] [Accessed Recuperado el 2 de febrero de 2014, de protección Civil Tabasco].

- [27]. **Rivera, T. F.**, (2009). *La inundacion de 2007 en Tabasco, México: evolución de niveles de agua*. s.l.:s.n.
- [28]. **María, P. & Torre, J. L. L. d. I.**, (2010). Causas de un desastre: Inundaciones del 2007 en Tabasco, México.. *Journal of LAtin American Geography*, 9 (2) *Conference of LAtin Americanist Geographers*, p. 73_98.
- [29]. **SMN**, (2008). *Lámina de lluvia normal mensual*, s.l.: s.n.
- [30]. **Arreguín, C. et al.**, (2014). Análisis de las inundaciones en la planicie tabasqueña en el periodo 1995.2010. *Tegnología y ciencia del agua*, 5 (3), pp. 05-32.
- [31]. **Barendregt, A. et al.**, (2002). *Evacuatie bij dreigende overstromingen* (in Dutch).
- [32]. **Meza-Padilla, R. et al**, (2015). Evaluación de la marea de tormenta en sitios con escasez de datos:rio Pánuco México. *RIBAGUA*, 2(2), pp. 61-70.
- [33]. **Friesen**, (2004). *"Probabilistic Evacuation Decision Model for River Floods in the Netherlands"*., Holanda: Delf University.
- [34]. **Balladares, et al**, (2016). Un primer acercamiento al problema de decisión en emergencias, mediante tablas de pago: caso práctico aplicado en Tabasco, México.. *Satregy, Technolgy and Sociaty*, 2(2), pp. 94-119.
- [35]. **Duke University**, (1995). An introduction to decision analysis.. In: D. University, ed. *Hard decisions*. Duke E.U.: Duke University, pp. 24-27.