CONVIVIENDO
Con la NATURALEZA

El Problema de los Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos en México

TEREZA CAVAZOS
EDITORA

REDESCLIM

CONACYT

CICESE

INECC
INSTITUTO NACIONAL
DE ECOLOGÍA
Y CAMBIO CLIMÁTICO

CENAPRED
MÉXICO

http://redesclim.org.mx

CONVIVIENDO CON LA NATURALEZA

El Problema de los Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos en México

Primera edición 2015

Editora
María Tereza Cavazos Pérez

Coedición:
Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos
y Climáticos (REDESClim) del CONACYT
Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE)

Diseño Editorial
Avani Studio Design
www.avanistudiodesign.com

Ediciones ILCSA S.A. de C.V.C

Calzada Tecnológico 909, Otay Universidad,
Tijuana. B. C., México.
Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial,
Registro No. 3195

ISBN: 978-607-8360-39-0

ISBN: 978-607-8360-41-3 Digital

Impreso y hecho en México

Derechos reservados. Copyright©2015

Todos los derechos reservados.
Ninguna parte de este libropuede ser reproducida
o transmitida de cualquier forma o por cualquier
medio, electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia,
grabación, o por cualquier sistema de almacenamiento
y recuperación, sin permiso escrito del propietario de
los derechos.

http://redesclim.org.mx

GRUPO MI CAMIÓN SE ESTÁ RENOVANDO
ABIERTO DE

PRÓLOGO

Las Redes Temáticas de Investigación CONACYT se definen como la asociación voluntaria de investigadores o personas con un interés común dispuestas a colaborar y aportar sus conocimientos y habilidades, coordinadas de manera colegiada. En este esquema, se pueden adicionar otros miembros de los diferentes sectores de la sociedad, así como estudiantes. Se pueden formar o fortalecer grupos de investigadores y asociados que abordan, desde una perspectiva interinstitucional y articulada, problemas complejos y prioritarios del país con el fin de contribuir al desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación (CTI) y a la consolidación del capital humano de alto nivel en México.

Entre otras cosas, las Redes Temáticas han trabajado en aspectos académicos básicos y de planeación de la investigación y formación de recursos humanos, así como de vinculación, todo en un contexto nacional con extensiones en lo internacional. Por esto, se vislumbran resultados importantes en el país a corto y mediano plazo. De hecho, están colaborando para que el desarrollo de la CTI en México sea más acelerado, sostenido y equitativo, se están optimizando recursos, generando más conocimiento de mejor calidad y se está trabajando en la gestión del mismo para su vinculación con los diferentes sectores de la sociedad. En este sentido hay dos puntos que me parece importante resaltar. Uno es que las Redes Temáticas están atendiendo, en su medida, problemas de emergencias nacionales, y por otro lado, están desarrollando actividades para transmitir el conocimiento científico que se genera a la sociedad en general.

De las Redes Temáticas que ha financiado el CONACYT desde 2009, la de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos (REDESClim) aborda aspectos de suma importancia para la seguridad nacional e individual, tales como el estudio de las causas e impactos de esos desastres en la

sociedad, la salud, la economía y en los recursos naturales. Dada la gran envergadura de este tema, es fundamental contar con información actualizada y de alta calidad y de instrumentos para la reducción integral del riesgo a desastres con la finalidad de prevenir y en su caso afrontar adecuadamente estos eventos de la naturaleza que pueden causar pérdidas de vidas, de recursos naturales, agropecuarios, de vías de comunicación y en general grandes pérdidas económicas.

Por eso es trascendente la participación multidisciplinaria de investigadores de esta Red en todos los aspectos mencionados. Los éxitos y metas que han alcanzado tienen una base en la estructura bien fundamentada y organización eficiente que le dieron sus miembros, en particular el Comité Técnico Académico (CTA) coordinado en su momento por la Dra. Tereza Cavazos. Esto les permitió tener una estrategia con actividades multidisciplinarias y multiinstitucionales.

En esta obra diez miembros de la red resaltan la importancia de aprender a convivir con la naturaleza para una mejor adaptación al clima y sus cambios. Utilizan información, que al presentarla en forma clara y de fácil lectura, nos permite entender mejor los fenómenos hidrometeorológicos y climáticos, así como sus riesgos, impactos y posibilidades de prevención y adaptación. Además, en forma consensuada con los miembros de la red, proponen un plan estratégico para la prevención y adaptación al riesgo de desastres. Este libro representa el esfuerzo, no común, de que los investigadores y sus instituciones hayan colaborado para integrar información científica muy valiosa sobre el estado del conocimiento de los desastres y su prevención en México y compartirla con todos sus lectores.

Luis Gerardo Hernández Sandoval
Director de Redes Temáticas del CONACYT
2013-2015

PREFACIO

Este libro es una contribución de la comunidad académica de la Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos (REDESClim) del programa de Redes Temáticas del CONACYT. Uno de los objetivos de REDESClim es mejorar el conocimiento y la capacidad de respuesta de México ante los desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos (HMyC). La tendencia ascendente observada en las últimas décadas en el número de desastres de origen HMyC a escala global y nacional motivó a REDESClim a promover el estudio de las causas físicas y sociales de los desastres a través de cinco líneas temáticas (LTs) de investigación: LT1: Datos y diseminación de información, LT2: Diagnóstico y análisis de procesos físicos y sociales, LT3: Pronóstico meteorológico y prevención, LT4: Modelación climática y análisis de procesos físicos, y LT5: Políticas públicas y estrategias de comunicación. REDESClim se formó en el 2011 con la visión de establecer puentes de colaboración entre los científicos y los tomadores de decisiones para promover el desarrollo y transferencia de conocimiento y encontrar soluciones al problema de los desastres en México.

A nivel nacional e internacional existen centros, redes y organizaciones que estudian, documentan y evalúan los desastres como el Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED) de México, la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (La Red, http://www.desenredando.org/), el programa de Reducción de Riesgo de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR, http://www.unisdr.org), el Banco Mundial, la Organización para la Educación, la Cultura y el Desarrollo (OECD) y la red CATALYST (http://catalyst-project.eu/), por mencionar solo algunos. En REDESClim se complementa el trabajo de estas redes y organizaciones agregando una fuerte componente física y estableciendo un puente entre lo físico y lo social (http://redesclim.org.mx). Además, el trabajo interdisciplinario e interinstitucional es de gran

relevancia en el estudio de los desastres, sus causas y su prevención; actualmente REDESClim tiene 100 miembros de casi 50 instituciones nacionales e internacionales que trabajan en temas físicos, socioeconómicos, ingenieriles, ambientales, o en una combinación de varios temas.

Este libro presenta una perspectiva científica sobre el estado del arte del conocimiento de varios peligros naturales estratégicos – ciclones tropicales, inundaciones, heladas, sequías e incendios forestales – que año tras año se asocian con desastres en México. Se describen las causas físicas y sociales de tales eventos y se proponen estrategias de prevención, gestión y adaptación para reducir la vulnerabilidad y el riesgo de desastre de la población y los ecosistemas.

En el Capítulo 1: Amenazas naturales, sociedad y desastres, Sánchez Rodríguez y Cavazos presentan una perspectiva global y nacional de los desastres de origen natural. Explican la tendencia positiva observada en la frecuencia de los desastres asociados a fenómenos HMyC en México y en el mundo y discuten, en forma general, los impactos de los desastres y algunas causas físicas y sociales que han generado dicha tendencia en las últimas tres décadas. Dan un panorama general del Sistema de Protección Civil de México y las necesidades prioritarias en materia de desastres de acuerdo a la Ley General de Protección Civil. Destacan la importancia de estudiar la vulnerabilidad y de fomentar una cultura de resiliencia a los desastres mediante el desarrollo de programas multidisciplinarios y multiinstitucionales con una visión preventiva y de adaptación a largo plazo.

En el Capítulo 2: Ciclones tropicales y su influencia en México, Farfán, Prieto, Martínez-Sánchez y Padilla muestran las trayectorias, frecuencia, variabilidad e impactos de los ciclones tropicales del Atlántico Norte y el Pacífico Oriental Tropical que han afectado a México durante el periodo 1970-2010 e identifican las regiones vulnerables en las costas mexicanas. Los autores discuten la variabilidad natural y las teleconexiones de gran escala asociadas a los cambios en la frecuencia e intensidad de los ciclones y de los periodos decenales activos e inactivos en el Pacífico Oriental y en el Atlántico Norte. Explican que la variación en la frecuencia de estos sistemas depende de fenómenos naturales que ocurren en diferentes escalas temporales – como El Niño Oscilación del Sur a escala interanual y oscilaciones decenales como las del Atlántico y el Pacífico. Los autores muestran que cuando hay un periodo decenal activo de ciclones tropicales en el Pacifico, hay uno inactivo en el Atlántico y viceversa, y que el calentamiento global podría aumentar la frecuencia de huracanes intensos. Sin embargo, los ciclones tropicales dependen de diversos factores que los modelos globales aún no simulan adecuadamente, por lo que sugieren estudiar los cambios futuros usando reescalamiento (*downscaling*) dinámico. También describen algunos métodos de predicción de la trayectoria de ciclones tropicales con modelos dinámicos de mesoescala y resaltan la importancia de las alertas tempranas y la difusión de la información.

En el Capítulo 3: Inundaciones, heladas e incendios forestales, Brito-Castillo y Pedrozo-Acuña analizan los riesgos asociados a estos tres tipos de eventos. Ellos documentan los daños económicos asociados a los fenómenos HMyC registrados por el CENAPRED desde 1980 y muestran que una tercera parte de las declaratorias de desastres en México entre 1980-1999 fueron por inundaciones. Entre 2000 y 2012 el mayor número de declaratorias de desastres fue por lluvias, ciclones tropicales y sequías. Los autores

también presentan un estudio de la frecuencia de incendios forestales en México entre 1980 y 2010 y encuentran tendencias positivas y significativas a nivel nacional. Además, discuten algunos métodos de predicción de inundaciones, heladas e incendios, así como la problemática y relevancia de la incertidumbre de los pronósticos en la prevención y toma de decisiones.

El último capítulo del libro, el **Capítulo 4: Plan estratégico nacional para la prevención y la reducción del riesgo a desastres asociados a eventos hidrometeorológicos y climáticos en México** de Sánchez Rodríguez, Cavazos y Morales Santos, es el resultado de una amplia discusión con 65 miembros de REDESClim e invitados de diferentes instituciones que participaron en la Segunda Reunión Estratégica de REDESClim en agosto de 2013 en la Ciudad de México. Este Plan Estratégico Nacional toma en cuenta acciones propuestas por el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, la Ley General de Protección Civil, la Ley General de Cambio Climático y la Estrategia Nacional de Cambio Climático 2013 con una visión hacia la prevención y la reducción del riesgo de desastres en México. Representa un gran reto porque propone acciones conjuntas de la sociedad por medio de una mayor coordinación entre los tres órdenes de gobierno y entre el sector público, social, privado y académico. En resumen se plantean acciones para (1) mejorar la capacidad de seguimiento, monitoreo y disponibilidad de datos de eventos HMyC y de desastres, (2) fortalecer el desarrollo de pronósticos y reducir su incertidumbre, (3) fortalecer la prevención y mejorar la comunicación de las alertas tempranas a través de tecnologías de la información, (4) expandir y mejorar el conocimiento de las causas físicas y sociales que generan desastres, (5) fortalecer la capacidad local, estatal y nacional para disminuir el número de afectados y reducir el riesgo de desastres, y (6) apoyar la adaptación al cambio climático.

El gran reto para nuestro país es trascender de un enfoque reactivo que ha predominado en los esquemas operativos de atención a desastres, a uno preventivo que reduzca el número de desastres y sus consecuencias sociales, económicas y ambientales. Aprender a convivir con la naturaleza es una tarea impostergable para el presente y futuro desarrollo de México. Esperamos que este libro sea de utilidad para todo público y que el plan estratégico que se propone en el Capítulo 4 sea un punto de partida para los trabajos de continuación de REDESClim; es necesario llevar a cabo las acciones propuestas en ese capítulo mediante la colaboración con las instituciones que toman decisiones en temas de monitoreo, pronóstico, alertas tempranas, prevención y reducción del riesgo de desastres y adaptación al cambio climático.

Tereza Cavazos
Representante de REDESClim
2011-2014

AGRADECIMIENTOS

Este libro es uno de los productos de la Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos (REDESClim) del CONACYT.

Agradecemos el financiamiento del CONACYT y el apoyo brindado por los directores de las Redes Temáticas de Investigación del CONACYT (Dr. Tomás Viveros, Dr. Jesús Leyva Ramos y Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval) durante 2011-2014, así como el apoyo administrativo del CICESE.

Agradecemos al Comité Técnico Académico de REDESClim y a los pares académicos que revisaron y dieron sugerencias a los capítulos de este libro ayudando a mejorar el contenido y visión de los mismos.

CONTENIDO

Prólogo V

Prefacio VII

Agradecimientos ..... X I

Capítulo 1 | Amenazas naturales, sociedad y desastres

Roberto Sánchez Rodríguez y Tereza Cavazos

Resumen 4
Abstract 6
1.1 Introducción 7
1.2 México: Un país de contrastes climáticos 10
1.3 Peligros naturales y desastres en México y en el mundo 16
1.4 Sequías e incendios del 2011 23
1.5 Huracanes del 2013: *Ingrid* y *Manuel* 27
1.6 Sistema de protección civil en México 29

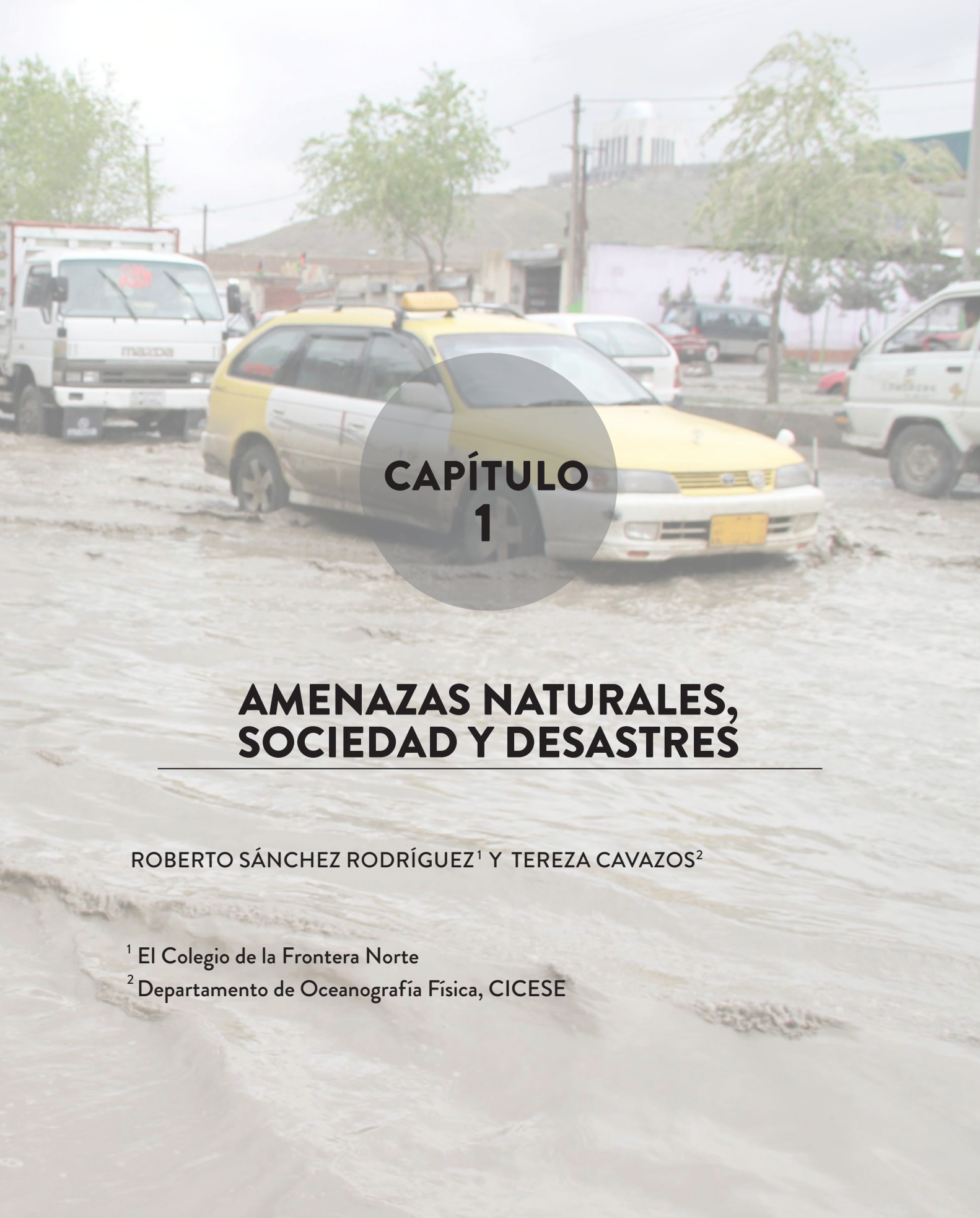
1.7 Vulnerabilidad y desastres 34
Agradecimientos 40
Referencias 41

Capítulo 2 | Ciclones tropicales y su influencia en México
Luis Manuel Farfán, Ricardo Prieto, Julio Nemorio Martínez Sánchez y Raymundo Padilla
Resumen 50
Abstract 52
2.1 Introducción 53
2.2 Formación, frecuencia anual y variabilidad 56
2.3 Predicción 64
2.4 Pronósticos estacionales 68
2.5 Investigación aplicada 69
2.6 Calentamiento global 71
2.7 Comentarios finales 72
Agradecimientos 73
Referencias 74

Capítulo 3 | Inundaciones, heladas e incendios forestales
Luis Brito-Castillo y Adrián Pedrozo-Acuña
Resumen 80
Abstract 82
3.1 Introducción 83
3.2 Inundaciones 87
3.3 Heladas 98
3.4 Incendios forestales 103
Agradecimientos 112
Referencias 113

Capítulo 4 | Plan Estratégico Nacional para la prevención y la reducción del riesgo de desastres asociados a eventos hidrometeorológicos y climáticos en México
Roberto Sánchez Rodríguez, Tereza Cavazos y Aarón Eduardo Morales Santos
Resumen/Abstract **124**
4.1 Introducción **125**
4.2 Plan estratégico nacional **129**
4.3 Agenda de REDESClim **139**
4.4 Conclusión **141**
Agradecimientos **142**
Referencias **143**

Cómo citar este Libro:
Cavazos, T. (Ed.), 2015: Conviviendo con la Naturaleza: El problema de los desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos en México. REDESClim, México, Ediciones ILCSA, 143 pp.



CAPÍTULO 1

AMENAZAS NATURALES, SOCIEDAD Y DESASTRES

ROBERTO SÁNCHEZ RODRÍGUEZ[1] Y TEREZA CAVAZOS[2]

[1] El Colegio de la Frontera Norte
[2] Departamento de Oceanografía Física, CICESE

RESUMEN

La frecuencia, importancia e impacto de los desastres asociados a eventos hidrometeorológicos y climáticos (HMyC) han aumentado de manera significativa durante las últimas décadas en México y en el mundo. En este capítulo se explican algunas causas físicas y sociales que han generado dicha tendencia y se resalta la importancia estratégica de la prevención y la adaptación. Los datos del Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) muestran un impacto importante de esos desastres en el desarrollo del país a partir de la inversión realizada para atender emergencias, el constante incremento en el número de emergencias declaradas y el número de personas afectadas. A pesar del progresivo desarrollo en el SINAPROC desde su creación en 1986 y los aportes de la Ley General de Protección Civil (LGPC) del 2012, persisten aún obstáculos para lograr una gestión integral del riesgo a los desastres. La reciente evaluación de ese sistema nacional por parte de la Organización de Cooperación Económica y Desarrollo (OCED 2013) destaca la necesidad de trascender de un enfoque reactivo a un enfoque preventivo en México. Aunque se cuenta con el Fondo Nacional para la Prevención de Desastres (FOPREDEN) y el Centro Nacional para la Prevención de los Desastres (CENAPRED), México ha otorgado poca atención a la prevención, en particular en el caso de los desastres asociados a eventos HMyC. Los datos del CENAPRED de la última década muestran una diferencia significativa entre la inversión realizada para la atención a los desastres y la inversión dedicada a la prevención. México enfrenta una serie de obstáculos que dificultan la construcción de esquemas operativos para prevenir el riesgo de desastres y mejorar su gestión. Destacan cinco aspectos: 1) la falta de series de tiempo continuas y de largo plazo de datos HMyC en diferentes partes del territorio nacional; 2) la escasez de estudios que documenten y analicen las causas físicas y sociales de los desastres a partir de un enfoque multidimensional necesarios para el diseño de estrategias de prevención y reducción del riesgo de los desastres; 3) la estructura y la cultura de operación de las instituciones del sector público, incluyendo las dedicadas a la protección civil, se basan en esquemas de trabajo sectoriales con planes operativos fragmentados por lo que su capacidad para tratar problemas complejos es limitada; 4) la falta de indicadores y métricas que representen los riesgos de las amenazas naturales y la vulnerabilidad diferenciada a escala local y regional, y 5) la inexistencia de una cultura de resiliencia al riesgo a desastres basada en programas proactivos, no reactivos; es decir, hacen falta planes y programas continuos de prevención con una visión de adaptación al riesgo de desastres en el corto, mediano y largo plazos.

Chapter 1

Natural hazards, society and disasters

ABSTRACT

The frequency, importance and impact of hydrometeorological and climatic (HMyC) related disasters have increased significantly over the past decades in Mexico and in the world. In this chapter this tendency is explained based on some physical and social causes, and the strategic importance of prevention and adaptation are highlighted. Data from the National System of Civil Protection (SINAPROC) show a significant impact of such disasters in the country's development based on the investment made for such emergencies, as well as on the steady increase in the number of declared emergencies and the number of people affected. Despite SINAPROC's progressive development since its inception in 1987 and the contributions of the General Civil Protection Law of 2012, there are still obstacles to achieving comprehensive disaster risk management. The recent evaluation of SINAPROC by the Organization for Economic Cooperation and Development (OCED 2013) highlights the need to transcend from a reactive to a proactive approach in Mexico. Although Mexico has the National Fund for Disaster Prevention (FOPREDEN) and the National Center for Disaster Prevention (CENAPRED), it has given little attention to prevention, particularly in the case of disasters associated with HMyC events. CENAPRED data from the last decade show a significant gap between the investment for disaster assistance and investment dedicated to prevention. Mexico faces a number of obstacles that hinders the construction of operational systems to prevent and improve disaster risk management. Five aspects are relevant: 1) the lack of continuous time series, and long-term HMyC data in different parts of the country; 2) the scarcity of studies documenting and analyzing the physical and social causes of disasters from a multidimensional approach, which are necessary to design strategies to prevent and reduce the risk of disasters; 3) the structure and culture of operation of institutions of the public sector, including those involved in civil protection, are based on sectorial schemes with fragmented operational systems so their ability to treat complex problems is limited; 4) the lack of indicators and metrics that represent the risks of natural hazards and differential vulnerability at local and regional levels, and 5) the absence of a culture of resilience to disaster risk based on proactive, not reactive programs; i.e., plans and continuous prevention programs with a vision of adaptation to disaster risk in the short, medium and long terms are needed.

1.1. INTRODUCCIÓN

Aprender a convivir con la naturaleza ha sido un reto constante para el desarrollo de las sociedades. El caso del clima es particularmente relevante ya que ha sido un factor importante en el desarrollo y declive de civilizaciones a lo largo de la historia de la humanidad (Mansanilla 1997; Diamond 2005). Las culturas que aprendieron a adaptarse a diferentes condiciones climáticas lograron mantener su desarrollo durante mayor tiempo. Consecuentemente, hay un gran número de innovaciones tecnológicas que caracterizan nuestra sociedad moderna que fueron creadas como parte del proceso de adaptación al clima. A partir de la revolución industrial las sociedades empezaron a crear una relación bidireccional con el clima a través de las emisiones de gases de efecto de invernadero. En el siglo XXI, el clima sigue siendo un factor fundamental para el desarrollo y con el cambio climático global se agrava el problema de los desastres asociados a eventos hidrometeorológicos y climáticos (HMyC) ya que el aumento de temperatura y de la variabilidad climática genera nuevos patrones de distribución de enfermedades infecciosas, impacta a las economías locales y nacionales, e incide de manera importante en el bienestar social (IPCC 2012). Los efectos de la variabilidad y el cambio climático son acumulativos y emergentes y requieren de estrategias multi dimensionales para poder manejarlos y entenderlos.

Es por ello que convivir con el clima es un proceso de adaptación y aprendizaje continuo. En ese proceso destacan la necesidad de diseñar, planificar e implementar mejores respuestas a los desastres asociados a eventos HMyC, los cuales son uno de los retos más importantes para la sustentabilidad y el desarrollo de las sociedades en este siglo. Datos a nivel mundial y de México muestran un crecimiento en el número de desastres asociados a eventos HMyC y un aumento en el número de muertes y pérdidas económicas causados por dichos eventos (CENAPRED 2013; GAR 2013; OECD 2013). Similarmente, datos de las Naciones Unidas muestran la creciente importancia de los desastres vinculados a eventos naturales (GAR 2013). La respuesta internacional al problema de los desastres de origen natural es coordinada por las Naciones Unidas a través del Marco de Acción de Hyogo 2005-2015 (http://www.unisdr.org/we/coordinate/hfa). Este marco se centra en 5 áreas prioritarias: 1) hacer la reducción de los riesgos a desastres una prioridad; 2) mejorar la información sobre riesgos y las alertas tempranas; 3) construir una cultura de seguridad y resiliencia; 4) reducir los riesgos en sectores claves; 5) fortalecer la preparación ante desastres para lograr respuestas eficientes.

El Marco de Acción de Hyogo ha logrado resaltar la importancia de los desastres asociados a los impactos de eventos climáticos en el desarrollo nacional y local, en particular para los países en desarrollo. Aún con los avances logrados hasta ahora en el manejo del riesgo de desastres, persisten a nivel internacional dificultades para entender de manera sistémica e integral los procesos generadores del riesgo a los desastres, su caracterización, identificación de actores y la creación de estrategias de intervención. Por ello, la gestión de riesgos se ha centrado hasta ahora en un enfoque correctivo y no preventivo (EIRD 2008, Khamis y Osorio 2013).

En su diagnóstico de la gestión local del riesgo a desastres en América Latina, la EIRD (2008) señala que la gestión ha sido impulsada por una compleja red de actores sociales entre los que se destaca especialmente la participación de Organizaciones no Gubernamentales (NGOs, por sus siglas en inglés) y las agencias de cooperación internacional que han apoyado y desarrollado un número significativo de proyectos, pero no siempre debidamente sistematizados y coordinados; sin embargo, aún persisten rezagos fuertes en muchos países, en particular a nivel local. El diagnóstico destaca los siguientes aspectos:

- *Se reconoce que el riesgo de desastres continúa creciendo, especialmente en las áreas más vulnerables. Los avances en las acciones de control y reducción han sido lentos. Se reconoce que se trata de una agenda que requiere mayor atención.*
- *Se deben incrementar sustancialmente las inversiones en reducción de riesgo de desastre a escala regional.*
- *Es necesario establecer sistemas de monitoreo de las condiciones de riesgo y el impacto de la puesta en práctica de políticas para su reducción a través de indicadores objetivos y metas cuantificables.*
- *La aplicación de políticas de reducción de riesgo deben apoyar los objetivos de adaptación al cambio climático.*
- *El nivel local es crítico en el crecimiento del riesgo de desastres. Las autoridades locales deben crear e implementar sus propios planes, incluyendo planes de atención a emergencias multisectoriales con una fuerte participación de la sociedad civil.*
- *Es necesario profundizar en el conocimiento de las causas del riesgo de desastres en las dinámicas de los planes de desarrollo.*
- *La gestión y la prevención del riesgo de desastres debe atenderse como un proceso social vinculado estrechamente al desarrollo local en todas sus dimensiones.*
- *Se debe dar prioridad al apoyo y fortalecimiento de capacidades de los gobiernos locales enfatizando cómo diseñar e implementar políticas de gestión de riesgo en sus procesos de desarrollo local de acuerdo a sus contextos y prioridades.*

Aprender a convivir con la naturaleza en México ayudaría a la creación de una sociedad resiliente a los desastres asociados a eventos naturales. Datos de DesInventar para México en el periodo 1980-2009 muestran que al menos un evento de desastre ocurre anualmente con más de 2,000 heridos, 70 muertes, 200 desplazados, 20,000 evacuados y 400,000 afectados (no necesariamente causados por el mismo evento) (Cardona et al. 2011). El Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) de México ha logrado avances importantes desde su creación en 1986, pero aún persisten elementos a mejorar para reducir el riesgo de desastres y crear enfoques preventivos para evitar que los desastres sucedan (OECD 2013) o por lo menos reducir el impacto.

Es importante recordar que los desastres HMyC a nivel mundial y en México se deben a un conjunto de factores, entre los que destacan los siguientes: una mayor frecuencia de eventos extremos (por ejemplo, ciclones tropicales de categoría 3, 4 y 5 durante las últimas décadas en la cuenca del Atlántico Norte) (IPCC 2012; Landsea et al. 2010); un mayor número de población asentada en zonas de peligro por eventos

climáticos extremos (UNISDR 2013; UN-Habitat 2013); una proporción significativa de población en condiciones de pobreza e inequidad social que limitan sus opciones de respuesta y recursos para sobreponerse y adaptarse a esos eventos (UNDP 2010, World Bank 2012); deficiencias en los sistemas nacionales y locales de protección civil (UNDP 2010; UN-Habitat 2013); poca información disponible a nivel local sobre esos eventos y sobre las acciones de adaptación para fortalecer la capacidad de acción de la amplia gama de actores locales (IFRC 2008; ISDR, ITC, UNDP 2010); las crisis financieras y económicas que limitan los recursos disponibles para atender con rapidez las emergencias y el desastre; y por último, la dificultad de trascender de esquemas operativos reactivos en la protección civil (responder al desastre una vez que éste sucede) a esquemas preventivos que eviten o reduzcan la ocurrencia de desastres (OECD 2013, Sánchez Rodríguez 2013).

Las Naciones Unidas otorga particular atención a las áreas urbanas en las estrategias para la reducción del riesgo de desastres (GAR 2013). Por ejemplo, destaca la iniciativa para crear ciudades resilientes como parte de los esfuerzos de su Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres en el marco de la Convención de Hyogo del 2005 (UNISDR 2013). Esta iniciativa reconoce la enorme importancia de las áreas urbanas para los esfuerzos en prevenir y reducir el riesgo de desastres. Diversos estudios identifican al siglo XXI como el siglo de la urbanización dada la concentración de la mayor parte de la población[1] y de la economía mundial en las ciudades. Naciones Unidas estima que el crecimiento de población durante las próximas décadas tendrá lugar en áreas urbanas (70 por ciento de la población total del planeta será urbana para el 2050) (Seto et al. 2010). Estudios sobre ciudades y eventos climáticos documentan que un número significativo de las ciudades en países en desarrollo se encuentran en áreas con mayor incidencia de eventos HMyC extremos (de Sherbinin et al. 2007, 2013). Además, una buena parte del crecimiento urbano en países en desarrollo lo constituyen asentamientos informales fuera de los esquemas de planificación urbana y con frecuencia se ubican en zonas de peligro sensibles a sufrir daños por eventos HMyC (UNISDR 2013).

México es uno de los países de América Latina con mayores niveles de urbanización. Según el censo de 2010 (www.inegi.org.mx, INEGI 2011), ese año un 77.8% de la población en México vivía en zonas urbanas, mientras que en 1950 sólo vivía un 43%. Las grandes ciudades (o zonas metropolitanas) en México con población mayor a 1 millón de personas aumentaron de 9 a 11 entre 2005 y 2010 (Anzaldo Gómez et al. 2008; www.inegi.org.mx; Green Solutions 2012) y el número de ciudades medias con población entre 100,000 y 1 millón de habitantes aumentó de 80 a 107 en el mismo periodo (INEGI 2011; Anzaldo Gómez et al. 2008). Similar a la tendencia a nivel mundial, la proporción del crecimiento urbano en México asociada a asentamientos informales en las grandes ciudades, en zonas costeras, cañones, laderas y riveras, ha aumentado la vulnerabilidad social a los riesgos naturales (OECD 2013).

1 *Le tomó a la humanidad más de 5,000 años llegar a mil millones de habitantes urbanos en 1960, pero sólo 26 para duplicar esa población urbana en 1986 y aumentar mil millones de personas más en el 2003, tan sólo 17 años después (Seto et al. 2010). Naciones Unidas estima que la población urbana en el planeta se volverá a duplicar para alcanzar 6,000 millones de personas en el 2044 y que la gran mayoría de ellos vivirán en países en desarrollo (UN 2007).*

1.2. MÉXICO: UN PAÍS DE CONTRASTES CLIMÁTICOS

México es un país de grandes contrastes y gran variabilidad climática por compartir su territorio entre el trópico y el subtrópico; por estar entre dos grandes océanos; por tener una topografía muy compleja, con valles y montañas, y altiplanos entre sombras orográficas. Estos contrastes ayudan a entender la sensibilidad de México al riesgo de desastres HMyC. El norte y partes del centro (63 %) del país se caracterizan por climas áridos y semiáridos (precipitación anual menor a 600 mm; Fig. 1.1) con una alta variabilidad climática interanual y muy propensos a las sequías, ondas de calor y heladas. Son zonas de climas extremosos, con temperaturas muy bajas en invierno y muy altas en verano, como se observa en la Fig. 1.2, siendo el noroeste de México el más susceptible a registrar las temperaturas más extremas (Fig. 1.2) y por lo tanto, heladas, nevadas y ondas de calor. Estudios recientes de cambio climático sugieren posibles aumentos entre 4 y 5°C en la temperatura máxima extrema en el noroeste de México para finales del siglo XXI (Cavazos et al. 2013a, García-Cueto et al. 2014).

En contraste a las zonas áridas y semiáridas del norte y centro del país, algunas regiones de Chiapas, Tabasco y Veracruz son sumamente húmedas (> 2000 mm/año; Figs. 1.1 y 1.3) debido a su topografía compleja, su cercanía con la Zona de Convergencia Intertropical, la influencia de sistemas tropicales del Atlántico y el Pacífico, y el paso de frentes fríos y nortes invernales que cruzan del Golfo de México al Istmo de Tehuantepec generando conjuntamente lluvias todo el año. Tabasco y Veracruz son los estados más propensos a recibir lluvias extremas tanto de invierno como de verano, como se muestra en la Fig. 1.3, y los que más declaratorias de emergencia[2] y desastres[3] registran anualmente como se explica en más detalle en la siguiente sección (Fig. 1.7) y en el Capítulo 3.

[2] *Declaratoria de emergencia: la Secretaría de Gobernación (SEGOB) destina los recursos del Fondo Nacional de Desastres Naturales (FONDEN) de la Secretaría de Gobernación para atender la vida y la salud de la población afectada con alimentos, medicinas y artículos de higiene personal.*

[3] *Declaratoria de desastre: SEGOB libera los recursos para reconstruir la infraestructura y restablecer los servicios de las regiones destruidas.*

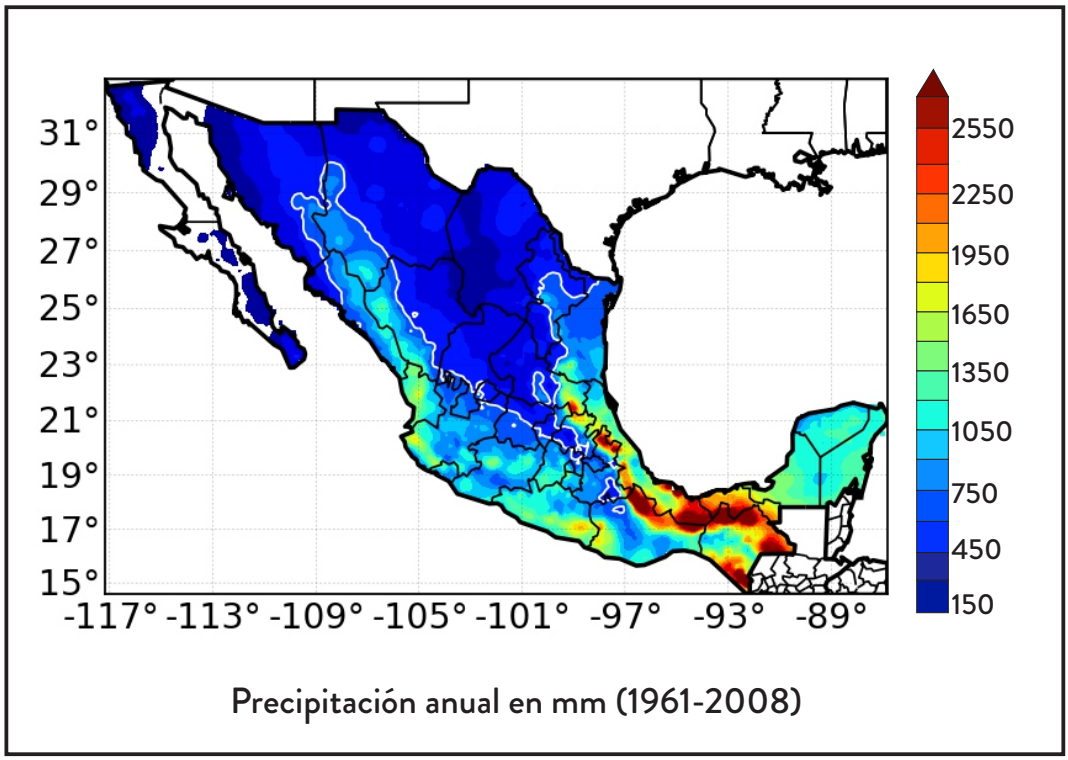
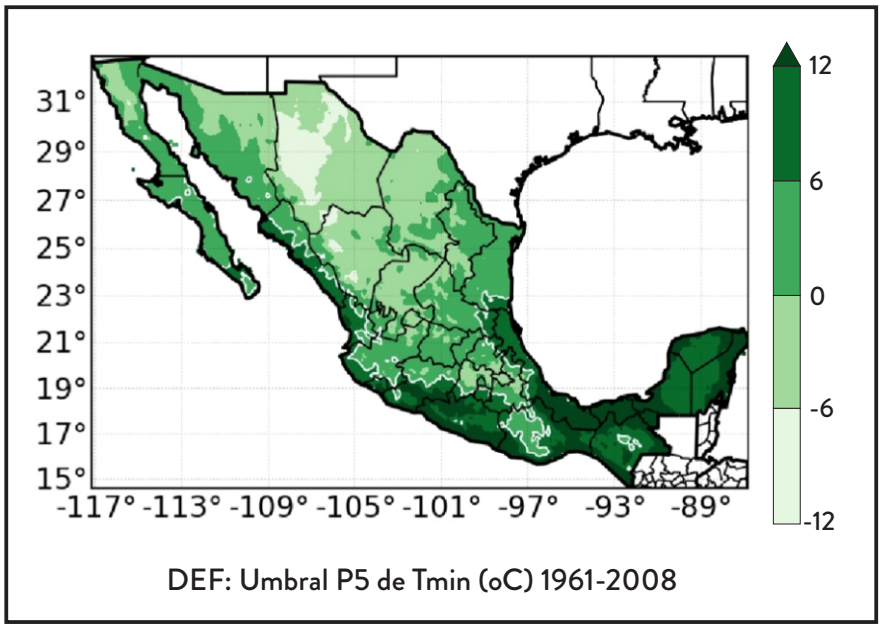


Figura 1.1. Precipitación media anual en mm de la base de datos interactiva del CLICOM desarrollada por REDESClim (http://clicom-mex.cicese.mx/malla/index.php). Se resalta en blanco la zona más árida de México (Desiertos de Sonora y Vizcaíno) con menos de 150 mm/año; el contorno blanco representa la isoyeta de 600 mm/año que indica aproximadamente el límite sur de las zonas semiáridas. En algunas regiones montañosas la precipitación media anual puede llegar a 3000 mm. Intervalos de contorno cada 150 mm.



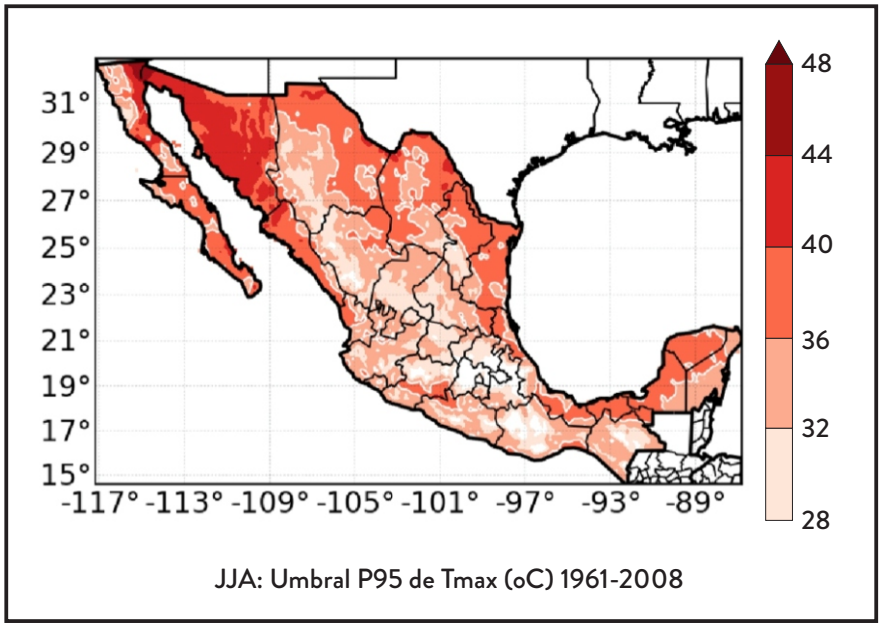


Figura 1.2. Delimitación de las zonas más propensas a extremos de temperaturas de invierno (DEF) y de verano (JJA) representados mediante los umbrales de las temperaturas más bajas de invierno, del 5% inferior de los datos o percentil 5 (P5 de Tmin; se resalta la isoterma de 6°C en color blanco), y de las temperaturas más altas de verano, 5% superior o percentil 95 (P95 de Tmax; se resalta la isoterma de 36°C). Mapas obtenidos de la base del CLICOM en malla (http://clicom-mex.cicese.mx/malla/index.php).

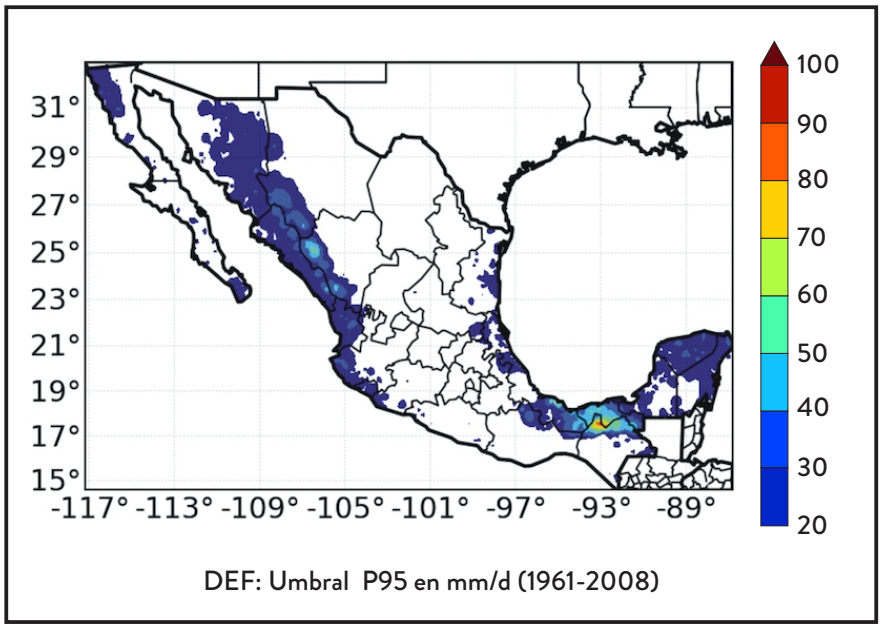
Por otra parte, las zonas costeras de México reciben lluvias extremas (Fig. 1.3) y torrenciales derivadas de ciclones tropicales, del monzón, o convectivas por la influencia topográfica durante el verano, y por el paso de frentes, nortes y vaguadas (bajas presiones) durante el invierno. Esta convergencia de factores, que ocurren en diferentes escalas de tiempo y espacio, genera una distribución desigual del clima, del agua y del impacto de los fenómenos naturales y desastres en México.

Aunque los principales daños de desastres y los más recurrentes en México se observan tras el paso de ciclones tropicales (Capítulo 2), la época invernal también genera eventos de importancia como lluvias torrenciales, nevadas y heladas como los descritos en el Capítulo 3. Estos eventos se asocian a la interacción entre fenómenos extratropicales y tropicales, como frentes fríos y vaguadas, ciclones tropicales tardíos, la corriente en chorro subtropical (Fig. 1.4) –la cual acarrea humedad del Pacífico hacia el centro y norte del país (Cavazos 1999, Cavazos y Rivas 2004)– y los eventos de El Niño Oscilación del Sur (Cavazos 1999, Magaña et al. 2003, Cavazos y Rivas 2004; Pavia et al. 2006).

BENEFICIOS E IMPACTOS DE LAS AMENAZAS NATURALES

La vulnerabilidad diferenciada característica de nuestro país hace que eventos hidrometeorológicos o climáticos comparables resulten con frecuencia en impactos opuestos en regiones contiguas, beneficiando a algunos y afectando significativamente a otros.

Las lluvias asociadas a los ciclones tropicales, frentes fríos y nortes son de gran importancia para la agricultura de temporal y la vegetación nativa, el llenado de presas y ríos, y la recuperación del nivel de los mantos freáticos y los acuíferos, especialmente en las regiones áridas y semiáridas. El paso de frentes fríos durante otoño e invierno no sólo genera bajas temperaturas y heladas, sino también genera lluvias propicias para la agricultura y favorece a algunas plantas que requieren de acumulación de horas frío para la generación de azúcares y el control de algunas plagas.



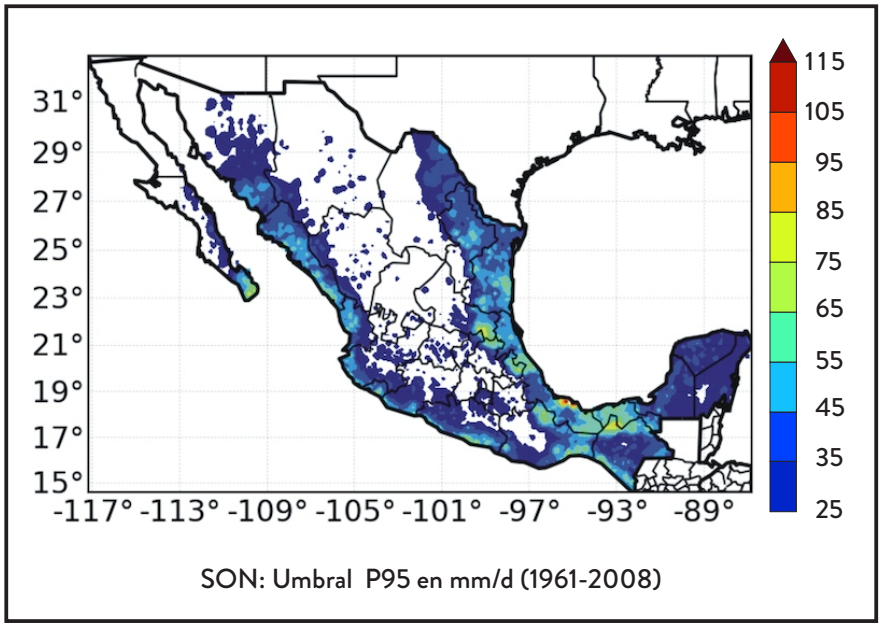


Figura 1.3. Zonas más propensas a lluvias intensas de invierno (DEF: Dic-Feb) y otoño (SON: Sep-Nov) representadas por el umbral de lluvias extremas (5% superior o P95) durante 1961-2008. El mapa de verano (Jul-Ago) es muy similar al de otoño. Mapas obtenidos de la base del CLICOM en malla.

El cambio climático podría incrementar la variabilidad climática afectando los patrones de circulación natural, las teleconexiones climáticas asociadas a El Niño Oscilación del Sur (ENOS) y la frecuencia e intensidad de eventos HMyC extremos (IPCC 2007, Seneviratne et al. 2012). Por lo tanto, es de suma importancia entender la variabilidad climática presente de los fenómenos naturales (que regularmente se asocian con daños en la agricultura, la ganadería, la salud, la vivienda, el transporte, la energía y el turismo) para poder adaptarnos y tomar medidas anticipadas para reducir el riesgo presente y futuro. El monitoreo continuo en las zonas más vulnerables, el pronóstico del tiempo en el corto y mediano plazos y las alertas tempranas son estrategias fundamentales para la prevención de riesgos por inundaciones, heladas, ondas de calor, incendios y otros eventos como se explican en los capítulos 2 y 3 de este libro.

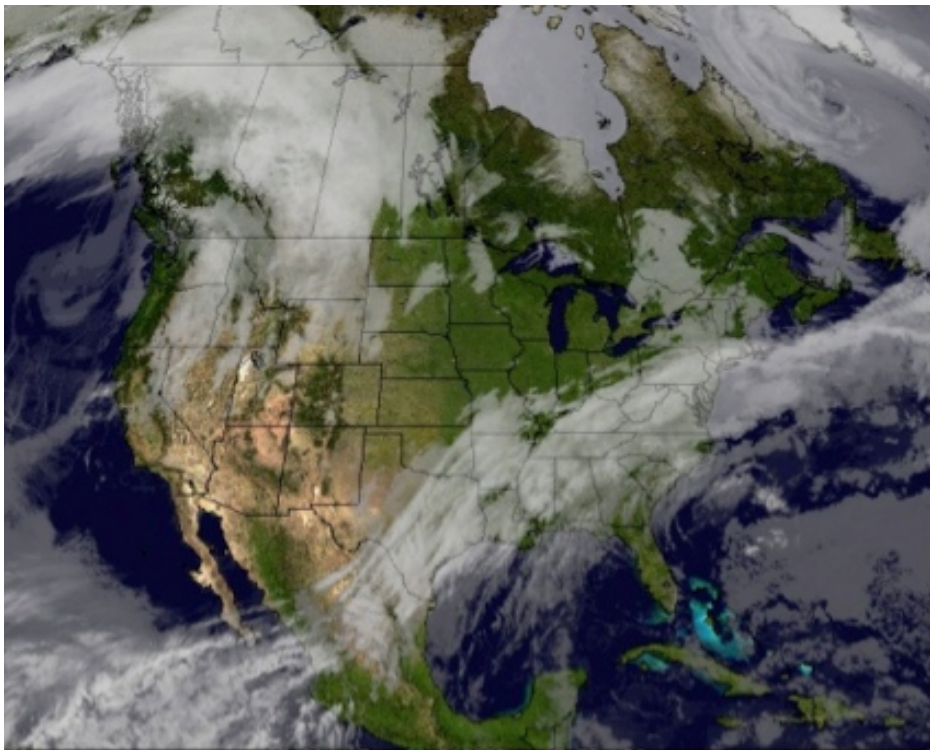


Figura 1.4. Imagen de satélite del 15 de enero de 2013 (McIDAS, SSEC). Varios estados del norte y centro de México se vieron afectados por bajas temperaturas, heladas, nevadas y lluvias producidas por la interacción entre la corriente en chorro (asociada a la nubosidad sobre México) y vientos fríos del norte en el noroeste de México y el paso de un frente frío (número 21) en el Golfo de México.

1.3. PELIGROS NATURALES Y DESASTRES EN MÉXICO Y EN EL MUNDO

El riesgo de ocurrencia de un desastre de origen natural se define en función de la probabilidad de ocurrencia de amenazas (A) o peligros naturales en zonas vulnerables (V) y la frecuencia e intensidad de la exposición (E) de la población, ecosistemas e infraestructuras a dichos eventos (IPCC 2012):

Riesgo de Desastre = f (Amenaza (o peligro) natural + Vulnerabilidad + Exposición)

La exposición y la vulnerabilidad son acumulativas, por lo que la exposición continua a amenazas no anticipadas aumenta la susceptibilidad de la población a sufrir pérdidas en un evento de desastre, favoreciendo así la persistencia de la pobreza y la desigualdad social. Además, el cambio climático agrega un elemento más de incertidumbre al riesgo de desastre, especialmente por el posible incremento de los eventos extremos y la variabilidad climática debido al calentamiento global (Seneviratne et al. 2012). Por lo tanto, dos acciones prioritarias son entender las causas naturales y las derivadas de la acción humana que pueden generar riesgos de desastres y monitorear continuamente las zonas más vulnerables de nuestro país.

Los peligros (o amenazas) naturales asociados a riesgos de desastres pueden ser de origen hidrometeorológico, geológico o biológico. Los desastres más frecuentes (Figs. 1.5 y 1.6) y significativos en el mundo son los hidrometeorológicos, los cuales incluyen a los climáticos; en el periodo 1980-2012, el 74% de las pérdidas causadas por desastres reportadas a nivel mundial (Munich Re 2013) se asociaron a eventos tales como ciclones tropicales, lluvias torrenciales, inundaciones, sequías, incendios forestales y heladas. Además, las estimaciones de pérdidas económicas que se han documentado a nivel internacional generalmente subestiman los impactos de eventos HMyC porque las pérdidas humanas, culturales, servicios ecosistémicos y calidad de vida son difíciles de valorar monetariamente (daños indirectos) (Lavell et al. 2012).

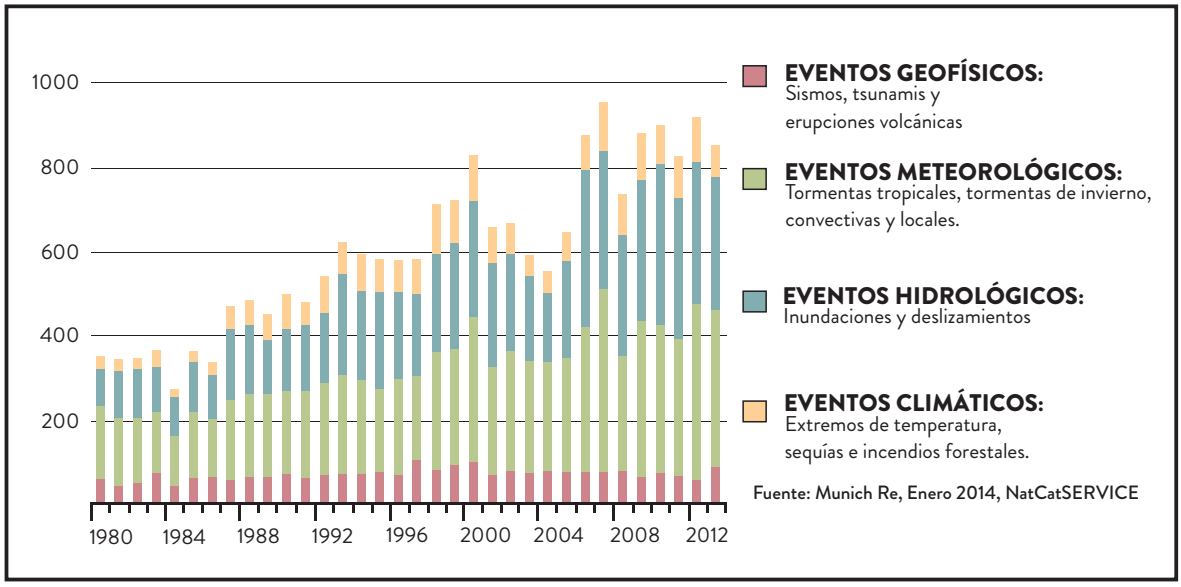


Figura 1.5. Número anual de eventos catastróficos de origen natural a escala global durante 1980-2013 de acuerdo a datos de Munich Re (2014).

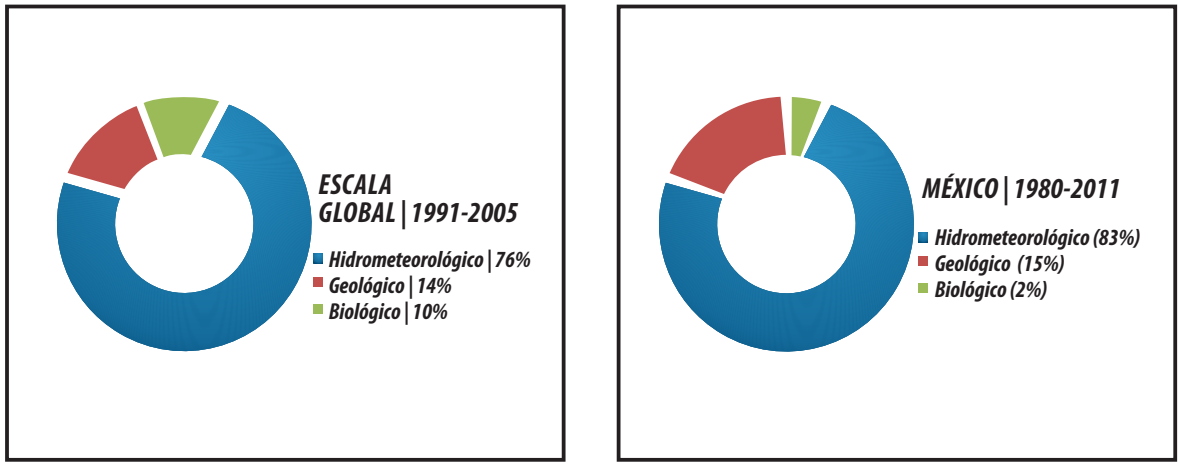


Figura 1.6. Frecuencia de peligros naturales asociados a desastres en el mundo y en México; los de origen hidrometeorológico también incluyen los eventos climáticos (EM-DAT 2011).

En el caso de México, el CENAPRED publica regularmente los impactos socioeconómicos de los desastres ocurridos en el país, ya sean naturales o provocados por el hombre, desde 1999. Sin embargo, información detallada de desastres a través de las declaratorias de emergencias y desastre está disponible sólo a partir del año 2000. La Fig. 1.7 muestra la información de declaratorias de desastre por eventos meteorológicos a nivel municipal para el periodo 2000-2011. Esta figura ayuda a distinguir una mayor incidencia de desastres en Veracruz, Tabasco, Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo, Baja California Sur, Sinaloa, Sonora, Chihuahua, Durango, Zacatecas, Nuevo León y Tamaulipas.

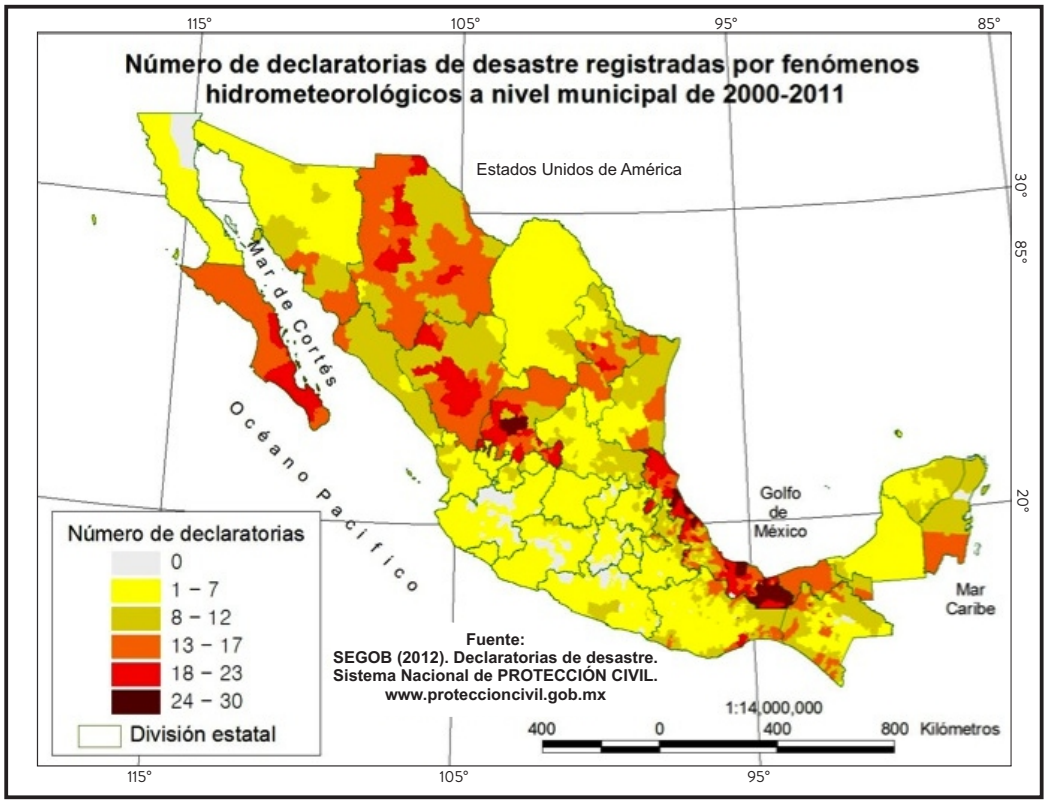


Figura 1.7. Declaratorias de desastre a escala municipal durante 2000-2011.

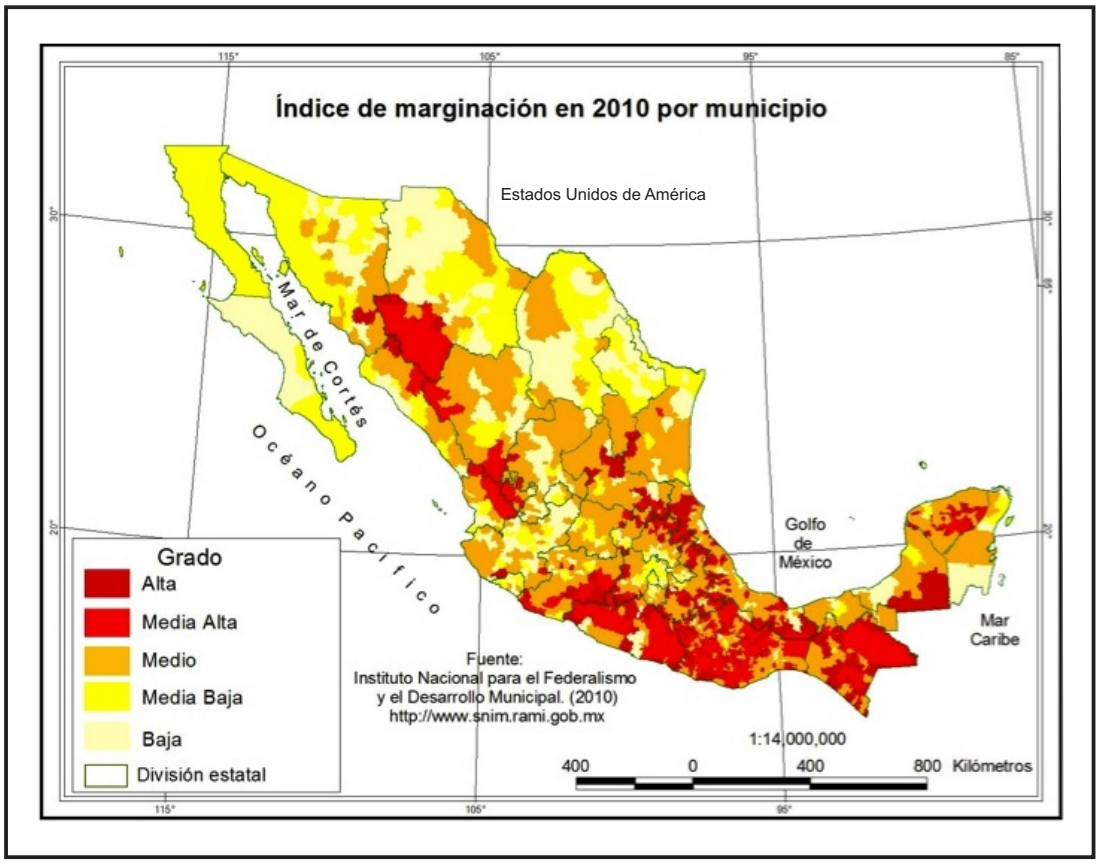


Figura 1.8. Índice de marginación municipal de 2010.

Es interesante notar la relación entre la localización de los desastres a nivel municipal en la Fig. 1.7 y el índice de marginación en México en la Fig. 1.8. Esta comparación resalta la importancia del estudio del riesgo a desastres asociados a eventos HMyC a nivel municipal en donde tienen lugar los desastres. La Presidencia de la República a través del FONDEN, a partir de los impactos de los huracanes *Ingrid* y *Manuel* en el 2013, inició una brigada digital y de transparencia en su página ReconstrucciónMX en donde muestran mapas y datos de los municipios afectados por emergencia y desastre. Sin embargo, sería recomendable tener toda la información histórica y mapas digitales disponibles en la página.

CENAPRED (2003) también cuenta con información puntual e histórica de los grandes desastres en México desde 1900 hasta 1999. De acuerdo a estos datos, los desastres asociados a fenómenos

causaron, en promedio, daños anuales del orden de 700 millones de dólares, de los cuales se estima que aproximadamente $200 millones son de daños indirectos no cuantificables (Bitrán Bitrán 2001). La Fig. 1.9 (daños directos) y la Tabla 1.1 (daños totales) muestran el costo de los desastres a partir de 1980.

Entre 1980 y 1999, el 44% de los daños directos se asocian a fenómenos hidrometeorológicos y el 44% fue de origen geológico, en particular debido al sismo de septiembre de 1985. Sin embargo, en las dos últimas décadas, se incrementaron significativamente la frecuencia (Gutiérrez Aja 2011; OECD 2013) y las pérdidas económicas relacionadas con desastres de origen HMyC como se observa en la Fig. 1.9 y la Tabla 1.1. La tendencia positiva registrada en las últimas décadas puede atribuirse no sólo al aumento de asentamientos humanos e infraestructuras en zonas de peligro, sino también posiblemente al incremento de las comunicaciones y de la atención de los medios y las instituciones, lo que ha llevado a un registro cada vez más completo de los daños de desastres, como se ha sugerido a nivel internacional (CENAPRED 2003). Por ejemplo, la Tabla 1.1 muestra los 10 desastres más importantes en México de acuerdo a los daños directos y población afectada desde 1929. Sin embargo, en esta lista de eventos relevantes el desastre más antiguo es el sismo de 1985, lo que podría sugerir que el sesgo hacia los últimos 25 años se debe, en parte, al incremento de información y de infraestructuras expuestas.

Una publicación reciente de Naciones Unidas que utiliza la información de DesInventar para México del periodo de 1980 al 2009 menciona que en ese periodo sucedieron 3,608 eventos hidrometeorológicos causando $66,499 millones de dólares en daños (Cardona et al. 2011). La base de datos DesInventar muestra que las pérdidas económicas causadas por eventos de origen hidrometeorológico han sido superiores a un millón de dólares 50 veces cada año; que han ocurrido pérdidas de al menos $ 15 millones de dólares al menos 10 veces por año; y que ha habido pérdidas de $300 millones de dólares al menos una vez por año y de mil millones de dólares al menos una vez cada seis años. Además, los eventos hidrometeorológicos con un periodo de retorno de un año afectan cerca de 300,000 personas y generan en promedio 16,000 evacuados, 88,380 víctimas, 2000 heridos, 53 muertes y pérdidas económicas de aproximadamente $400 millones de dólares (Cardona et. al. 2011).

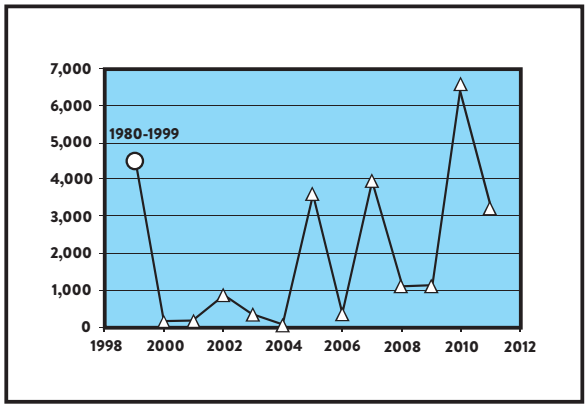


Figura 1.9. Total de daños económicos directos por desastres asociados a eventos hidrometeorológicos y climáticos en México (en millones de dólares) acumulados durante 1980-1999 (Bitrán Bitrán 2001; dólares del 2001 a $9.5 pesos) y anualmente del 2000 al 2010 (CENAPRED 2012) y 2011 (CENAPRED 2013; dólares del 2010 a $12.5 pesos).

Tabla 1.1. Los 10 desastres individuales más importantes de origen natural registrados en México de 1929 a mayo de 2013 de acuerdo a los daños económicos totales (directos e indirectos). Fuente: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database, www.em-dat.net - Université Catholique de Louvain - Brussels - Belgium. EM-DAT sólo documenta desastres en los que se reportaron 10 o más muertes, 100 personas afectadas, declaratoria de asistencia internacional o declaratoria de desastre estatal.

No.	DESASTRE*	FECHA	ESTADOS AFECTADOS**	DAÑOS DIRECTOS E INDIRECTOS (MILLONES US DLLS.)	POBLACIÓN AFECTADA (RANGO***)
1	Tormenta: huracán *Wilma*	19 / 10 / 2005	Yuc, QR	5,000	1,000,000 (5)
2	Sismo: Ciudad de México	19 / 09 / 1985	DF, Gro, Jal, Mic, Col	4,104	2,130,204 (2)
3	Tormenta, inundaciones: huracán *Karl* y tormenta tropical *Matthew*	15 / 09 / 2010 al 20 / 09 / 2010	Ver	3,900	1,000,000 (6)
4	Inundación y derrumbes: Tabasco	28 / 10 / 2007	Tab, Chia	3,000	1,600,000 (4)
5	Tormenta, inundación y derrumbes: huracán *Stan*	1 / 10 / 2005	Ver, Tab, Oax, Chia, Pue, Hid	2,500	1,954,571 (3)
6	Tormenta: huracán *Alex*	30 / 06 / 2010	NL, Tam, Tab, Coa	2,000	
7	Tormenta: tormenta tropical *Beatriz*	22 / 06 / 1993	Gro, Oax	1,670	
8	Tormenta: huracán *Roxanne*	10 / 10 / 1995	Cam, Tab, Yuc	1,500	
9	Sequía	Mayo - 1996	NL, Tam	1,200	
10	Sismo: Mexicali	4 / 4 / 2010	BC	1,150	

* En negritas se indica el nombre del desastre de acuerdo a la clasificación de EM-DAT; en blanco los de origen hidrometeorológico y en naranja los de origen geológico.

** Estados afectados de acuerdo a datos del CENAPRED (2012). Abreviación: Baja California: BC, Campeche: Cam, Chiapas: Chia, Coahuila: Coa, Colima: Col, Distrito Federal: DF, Guerrero: Gro, Hidalgo: Hid, Jalisco: Jal, Nuevo León: NL, Michoacán: Mic, Oaxaca: Oax, Puebla: Pue, Quintana Roo: QR, Tabasco: Tab, Tamaulipas: Tam, Veracruz: Ver, Yucatán: Yuc.

*** Rango: importancia de acuerdo a los 10 desastres individuales que afectaron a mayor población en México; una celda en blanco significa que el evento no entró a los 10 principales por población afectada. De acuerdo a los datos EM-DAT revisados en diciembre de 2013, 2011 es el año que registró el mayor número de afectados (rango 1), especialmente por sequías, pero este evento no aparece en la Tabla 1.1; es probable que los daños económicos totales (directos e indirectos) del 2011 aún no se hayan reportado a EM-DAT y por eso no aparece en esta lista; Los impactos socioeconómicos del 2011 los publicó el CENAPRED en diciembre de 2013 (ver Fig. 1.9).

Por su parte la Aseguradora Munich Re indica que el 79% de los daños económicos totales de todas las catástrofes de origen natural en México se asociaron a eventos HMyC (Fig. 1.10) y sólo el 13% de todas las pérdidas estaban aseguradas (Gutiérrez Aja 2011), incrementando con esto las consecuencias sociales de esos desastres. Estas pérdidas enfatizan la importancia estratégica de la prevención y la adaptación como una inversión redituable para garantizar una sociedad más preparada y segura, como ya lo han propuesto el CENAPRED (2003), el nuevo Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 y la evaluación de la OECD (2013) al SINAPROC.

De acuerdo a las pérdidas económicas y mayor población afectada en México, los 3 años que registraron los mayores desastres derivados de eventos HMyC ocurrieron entre 2000 y 2010 como se puede ver en las Fig. 1.9 y en la Tabla 1.1. Estos años fueron en orden de importancia: el 2005 (huracanes *Stan, Wilma* y *Emily*), el 2010 (ciclones tropicales *Karl, Matthew* y *Alex*) y el 2007 (huracán *Dean* y la acumulación de varios eventos durante la temporada de lluvias que generaron las inundaciones de Tabasco). El 2005 y el 2010 fueron particularmente devastadores para México porque ocurrieron diversos eventos (varios huracanes, lluvias torrenciales de invierno y verano arriba de lo normal y heladas) que derivaron en daños económicos que sobrepasaron los del sismo de septiembre de 1985; además, en el 2010 también ocurrió el sismo de Mexicali que, sin ser de origen hidrometeorológico, es necesario considerarlo por su impacto en la sociedad.

La importancia de algunos eventos climáticos en México se ilustra a continuación partir de dos casos recientes: las sequías y los incendios del 2011 y los huracanes *Ingrid* y *Manuel* del 2013.

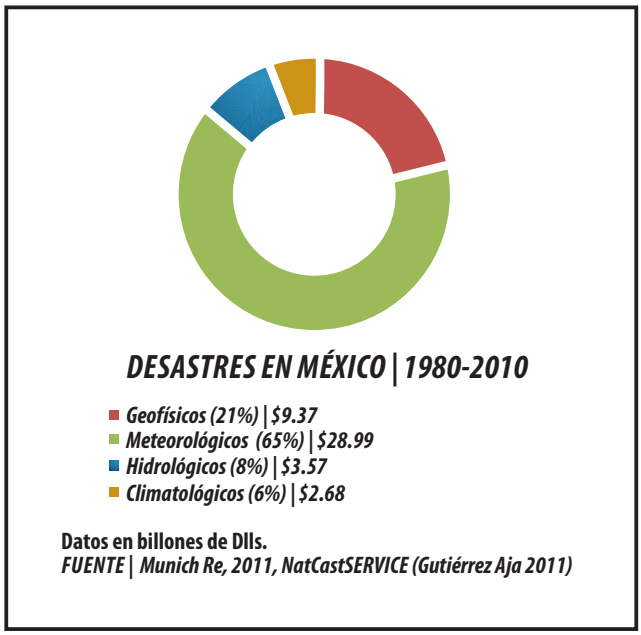


Figura 1.10. Porcentaje de daños y pérdidas totales (directas e indirectas en billones de dólares) de desastres asociados a fenómenos naturales en México acumulados durante el periodo 1980-2010. Las categorías de los eventos son como en la Fig. 1.5. Los datos de Munich Re fueron obtenidos de Gutiérrez Aja (2011).

1.4 SEQUÍAS E INCENDIOS DEL 2011

México experimenta sequías casi todos los años en mayor o menor grado, especialmente el norte del país. En el siglo XX, las sequías más intensas y prolongadas ocurrieron en las décadas de los 30s, 50s y 90s las cuales se asociaron a cambios naturales de gran escala del océano y la atmósfera como la Oscilación Multidecenal del Atlántico (OMA), la Oscilación Decenal del Pacífico (ODP) y ENOS (p. ej., Seager et al. 2007, Stahle et al. 2009, Stahle et al. 2012, Mendez y Magaña 2010). La sequía de los 90s también podría estar relacionada al calentamiento global a través de aumentos en la temperatura posiblemente agravados por el cambio de uso de suelo (Stahle et al. 2009, Englehart y Douglas 2005). La sequía de los 90s se observó durante 1994-2005 y es la más prolongada y severa desde 1900 en el centro de México (Stahle et al. 2009).

Del 2006 al 2011 México también enfrentó una serie de sequías que afectaron a gran parte del país como se observa en la Fig. 1.11. La sección anterior señala que el 2010 se caracterizó por lluvias arriba de lo normal; gracias a esto el área afectada por las sequías en México disminuyó considerablemente ese año (Fig. 1.11). Sin embargo, en el 2011 México sufrió nuevamente una sequía de gran impacto. De acuerdo a los datos de EM-DAT (2013), en el 2011 se registró el mayor número de población afectada en México (2,500,000 afectados) por un desastre de origen natural (la sequía), seguido por el sismo de 1985 (2,130,204 afectados, rango 2 en Tabla 1.1).

Según el Monitor de Sequía en México (MSM) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), el cual forma parte del Monitor de Sequía de América del Norte (NADM), *(https://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/nadm/),* entre mayo y julio de *2011* se registró la peor sequía de los últimos 60 años y la mayor extensión (más del 75%) de área afectada por las sequías en México desde 2003 (Fig. 1.11). Diecinueve de las 32 entidades federativas del país reportaron lluvia promedio anual por debajo de lo normal con respecto al periodo histórico de 1941-2011; sobresalieron Baja California Sur, Durango, Coahuila, Aguascalientes, Zacatecas, Chihuahua, Nuevo León, Guanajuato y Querétaro, en donde llovió por lo menos 30% menos que el promedio de los últimos 70 años (CENAPRED 2013). Esto causó graves pérdidas (~20%) en la producción agrícola principalmente en los estados productores de granos básicos como el maíz (Juárez y Hansen 2012) y el frijol (Giner et al. 2011); asimismo, se registraron afectaciones en el ganado bovino por la reducción de forraje y disponibilidad de agua en varios estados (Giner et al. 2011). Los daños directos ocasionados por desastres de origen HMyC en el 2011 sumaron $3,181 millones de dólares, lo que coloca a este año como el cuarto más costoso desde 1999 (Fig. 1.9; CENAPRED 2013; ver nota aclaratoria sobre el rango de los desastres individuales en la Tabla 1.1).

Por otra parte, las lluvias del 2010 favorecieron el crecimiento de vegetación silvestre que, conjuntamente con la sequía y las altas temperaturas del 2011 (1°C arriba del promedio de largo plazo), propiciaron condiciones aptas para la generación y propagación de incendios forestales. En el 2011, México sufrió la peor oleada de incendios forestales desde 1998 (CONAFOR 2011). El Capítulo 3 explica en mayor detalle la variabilidad de los incendios en México.

Se especula que las sequías persistentes de la última década podrían ser parte de la tendencia negativa de precipitación proyectada por los modelos globales de cambio climático debidos al calentamiento global antropogénico (Stalhe et al. 2009). Los nuevos escenarios de cambio climático para México realizados por varios miembros de REDESClim como parte de un proyecto apoyado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (Cavazos et al. 2013b; http://escenarios.inecc.gob.mx/) proyectan incrementos de temperatura entre 1.5 y 5°C en casi todo el país para el siglo XXI y reducciones de precipitación especialmente en invierno y primavera, pero con variaciones regionales. Estos factores podrían favorecer la persistencia de las sequías. Además, con el calentamiento global también se espera una mayor variabilidad del clima de un año a otro y mayor frecuencia de eventos extremos (Seneviratne et al. 2012).

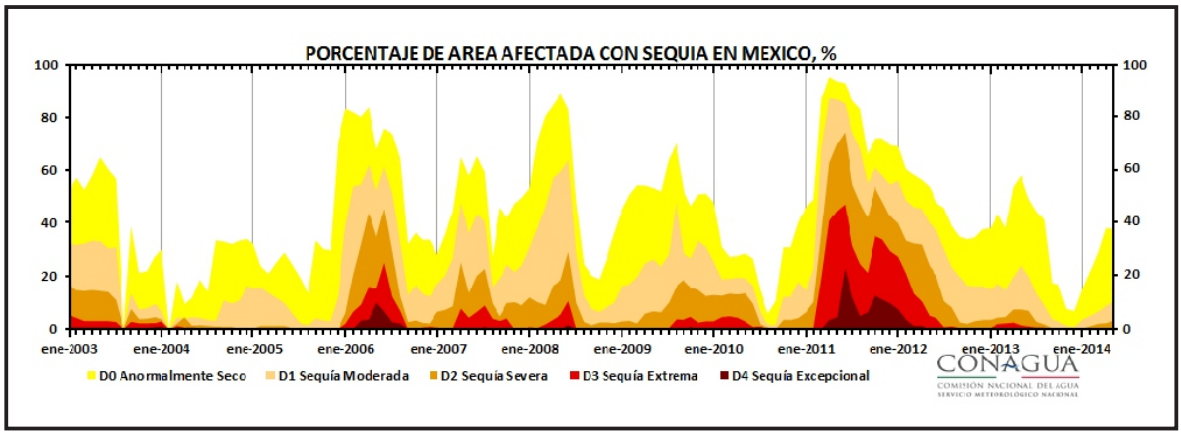


Figura 1.11. Porcentaje de área afectada por la sequía en México durante 2003-2014. Fuente: SMN, http://smn.cna.gob.mx/index.php? option=com_content&view=article&id=236&Itemid=23.

1.4.1. MONITOR DE SEQUÍA EN MÉXICO (MSM)[4]

En México, el SMN es la dependencia oficial del gobierno encargada de proporcionar información meteorológica (estado del tiempo) y climatológica. Para ello utiliza las redes de observación tales como estaciones automáticas, observatorios sinópticos, radares, estaciones de radiosondeo y estaciones receptoras de imágenes de satélite. Uno de los fenómenos climáticos que más afecta a las actividades económicas del país es la sequía; el SMN se encarga de detectar el estado actual y la evolución de este fenómeno. Para ello se apoya en el Monitor de Sequía en México (MSM) que a su vez forma parte del Monitor de Sequía de América del Norte (NADM).

Gracias a las actividades del monitoreo de la sequía que realizó el SMN bajo los esquemas del MSM y NADM fue posible hacer la detección, caracterización y difusión de uno de los eventos de sequía más catastróficos de los últimos años, la sequía del 2011. Con esta información los administradores y tomadores de decisión de los recursos hídricos en México pudieron enfrentar esta contingencia climatológica con éxito.

El NADM es el resultado de la cooperación técnica entre expertos de sequía de México, Estados Unidos y Canadá, el cual tiene como objetivo describir las condiciones de sequía en América del Norte. El NADM analiza diversos índices o indicadores de sequía desde 1999. El Centro Nacional de Datos Climáticos de los Estados Unidos (NCDC) es el encargado de coordinar las actividades entre las contrapartes de los países, que incluye un calendario de autores por país, quienes tienen la misión de reunir las evaluaciones mensuales de la sequía y generar el mapa regional de sequía de América del Norte.

El MSM inició en México en 2002 dentro de las actividades del NADM, pero fue hasta febrero de 2014 que adquirió su carácter nacional, lo que le permitió emitir mapas de sequía a escala bimensual, siempre utilizando la metodología del NADM. La Metodología del MSM se basa en la obtención e interpretación de diversos índices o indicadores ambientales que ayudan a los expertos locales a determinar el grado de sequía nacional:

- *Índice estandarizado de precipitación (SPI) que cuantifica las condiciones de déficit o exceso de precipitación (30, 90, 180, 365 días).*
- *Anomalía de lluvia en porciento de lo normal (30, 90, 180, 365 días);*
- *Índice satelital de salud de la vegetación (VHI) que mide el grado de estrés de la vegetación a través de la radiancia observada.*
- *Modelo de humedad del suelo Leaky Bucket del CPC-NOAA que estima la humedad del suelo mediante un modelo hidrológico de una capa.*
- *Índice normalizado de diferencia de la vegetación (NDVI) que se obtiene por medio de satélite.*
- *Anomalía de la temperatura media del aire.*

Estos índices se despliegan en capas a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) y mediante un consenso de los expertos se determinan las regiones afectadas por sequía; el grado de sequía regional se determina de acuerdo a la escala de intensidades que es común en los tres países, la cual va desde anormalmente seco (D0), sequía moderada (D1), sequía severa (D2), sequía extrema (D3) hasta sequía excepcional (D4), como se ve en la Fig. 1.11. Como resultado del consenso se trazan polígonos para cada intensidad de sequía, generando archivos tipo *shapefile*. Los polígonos del 15 de cada mes se utilizan para cuantificar y emitir la sequía sobre el territorio nacional y a final de cada mes se usan para complementar el mapa regional o continental del NADM. La sequía se despliega en un mapa que cubre desde Canadá hasta México.

El MSM consta de una serie de materiales que incluyen una descripción de la sequía en el país, el conteo de municipios afectados por las diferentes categorías de sequía, tablas y gráficos de porcentaje de área afectada por sequía a nivel nacional, estatal, 13 Regiones Hidrológico-Administrativas y 26 Consejos de Cuenca, como los que se muestran en http://smn.conagua.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=20&itemid=74. A la fecha el MSM es el único producto que describe la sequía en el país y es altamente solicitado por los tomadores de decisiones en el ámbito del gobierno federal, autoridades locales (gobiernos estatales y municipales), la academia (estudiantes/investigadores), y usuarios en general atendidos a través de la cuenta sequina_smn@conagua.gob.mx.

Con la formulación del Programa Nacional contra la Sequía (PRONACOSE), el MSM representa un eslabón importante dentro de la primera componente que se refiere a los programas para prevenir y enfrentar la sequía a nivel de consejos de cuenca. Para mayor información sobre este programa consultar http://www.pronacose.gob.mx/.

Actualmente el SMN cumple con el propósito de evaluar y monitorear las regiones con sequía del país. Sin embargo, es necesario implementar un esquema de perspectiva de la sequía que pueda apoyar a los tomadores de decisiones en adecuar las medidas preventivas a nivel local con mayor anticipación. Otra de las tareas es la identificación de nuevos índices de sequía formulados para las condiciones de México y que puedan ser obtenidos en tiempo casi real y el establecimiento de una red de medición de humedad del suelo. Muchas de estas actividades ya han sido pospuestas, pero existe una carencia financiera y de recursos humanos especializados en el tema.

[4] *La Sección 1.4.1 es una contribución de Adelina Albañil Encarnación, Reynaldo Pascual Ramírez y Minerva López Quiroz de la Coordinación General del SMN.*

1.5. HURACANES DEL 2013: *INGRID* Y *MANUEL*

Los daños y pérdidas por desastres ocurridos en el 2012 y 2013 no se incluyen en las figuras y tabla de este capítulo porque el CENAPRED aún no publica los reportes oficiales anuales de los impactos socioeconómicos de estos dos años. Sin embargo, 2012 y 2013 también se caracterizaron por eventos de gran relevancia. En particular en el verano de 2013, por tercera ocasión el país fue afectado en forma simultánea por dos huracanes, *Ingrid* en el Golfo de México y *Manuel* en el Pacífico; el primer caso histórico similar a éste ocurrió en 1958, pero los dos ciclones duraron muy pocos días y sus efectos fueron puntuales; la segunda ocasión fue en el 2007 cuando pasó *Henriette* (categoría 1) por el Pacífico y *Félix* (categoría 5) por el Caribe, pero *Felix* pasó muy debilitado por México, lo cual fue afortunado para el país, ya que una semana antes el huracán *Dean* (categoría 5) afectó a 8 estados de la República. La diferencia principal de los dos casos anteriores con el observado en el 2013, es que *Ingrid* y *Manuel* tuvieron varias entradas a tierra por costas mexicanas durante la misma semana. Del 13 al 19 de septiembre de 2013 los huracanes *Manuel* e *Ingrid* (Fig. 1.12) impactaron conjuntamente a 22 estados de la República, especialmente a Guerrero, generando lluvias torrenciales en gran parte del país, acumulación de agua, desgajamiento de cerros e inundaciones, los cuales a su vez produjeron muertes y graves afectaciones a la población, a los sistemas de telecomunicaciones, a la agricultura, a servicios ecosistémicos, a la salud y el turismo. Los daños resultantes de la interacción de *Ingrid* y *Manuel* con regiones vulnerables en las zonas costeras de México aún están siendo evaluados y documentados por diversas instituciones gubernamentales y redes, incluyendo REDESClim.

Figura 1.12. Ocurrencia sin precedente histórico de 2 huracanes que entraron a tierra en varias ocasiones durante la misma semana de septiembre de 2013 en costas mexicanas: *Manuel* en el Pacífico e *Ingrid* en el Golfo de México. (Imagen de satélite GOES-NOAA del 15 de septiembre 2013).

En un reportaje de **El Economista** (Monroy 2014) se menciona que de acuerdo al portal ReconstrucciónMX (http://www.presidencia.gob.mx/fonden/), el gobierno federal destinó 3,500 millones 700,000 pesos para la reconstrucción en 19 estados y 428 municipios afectados por los huracanes *Ingrid* y *Manuel*. Por otra parte, **La Jornada** (Martínez 2014) indica que de acuerdo a la Secretaría de Gobernación (SEGOB) costará 45,000 millones de pesos atender todos los daños ocasionados por *Ingrid* y *Manuel*. Por el número de estados afectados y el costo necesario para la reconstrucción, el 2013 podría posicionarse entre los tres primeros de la Tabla 1.1; sin embargo, aún no se tienen las estimaciones oficiales. Comparativamente, entre 2007-2014 México destinó 29,000 millones de pesos para atender emergencias y sólo 2,264 millones para prevenirlos (PNPC 2014). En el 2011, posterior a los impactos del huracán *Alex* en 2010, el presupuesto para el FONDEN aumentó casi un orden de magnitud (de 150 millones a 10,000 millones; Tabla 1.2), mientras que el apoyo para la prevención ha permanecido casi constante (~300 millones de pesos por año) en los últimos 7 años. Los apoyos para prevención se solicitan a través de proyectos de los gobiernos estatales al FOPREDEN y pasan por un proceso de revisión en el CENAPRED. Una respuesta reactiva a la emergencia por eventos de desastres es sólo una solución parcial al problema de la reducción de riesgos de desastres (OECD 2013).

Tabla 1.2. Presupuesto federal anual (en millones de pesos) programado para los dos fondos de desastres de México (FONDEN izquierda y FOPREDEN derecha). El promedio de los 8 años es de 3,454 millones 387,882 pesos del FONDEN y 283 millones del FOPREDEN (Tomado del **Diario Oficial de la Federación** 2014).

AÑO	FONDO DE DESASTRES NATURALES	FONDO PARA LA PREVENCIÓN DE DESASTRES NATURALES
2007	$135.70	$ 97.00
2008	$150.00	$300.00
2009	$150.00	$300.00
2010	$150.00	$300.00
2011	$10,000.00	$300.00
2012	$5,296.05	$310.50
2013	$5,507.89	$322.92
2014	$6,245.47	$335. 19

Fuente: Presupuesto de Egresos de la Federación relativo a cada ejercicio fiscal que se señala.

1.6. EL SISTEMA DE PROTECCIÓN CIVIL EN MÉXICO

La protección civil en México ha tenido avances importantes durante las últimas décadas y se encuentra en un proceso de transición de un enfoque primordialmente reactivo a la construcción de un sistema preventivo de los desastres. La actualización de su marco normativo y el nuevo Programa Nacional de Protección Civil (PNPC) 2014-2018 incluyen elementos para mejorar la gestión integral del riesgo de desastres en el país. Sin embargo, la prevención, reducción, rehabilitación y reconstrucción de los desastres asociados a eventos naturales en México enfrenta aún obstáculos estructurales (OECD 2013). Las siguientes secciones consideran aspectos relevantes de la protección civil en México sin pretender ser un análisis exhaustivo.[5]

1.6.1. MARCO NORMATIVO

La Ley General de Protección Civil (LGPC) del 2012 y su reglamento publicado en mayo del 2014 constituyen el marco normativo para la protección civil en México (http://www.cenapred.unam.mx/es/documentosweb/Noticias/Ley_General_Proteccion_Civil_2014.pdf). Esta Ley general substituye a la del año 2000. La LGPC tiene la calidad de ley general y, por lo tanto, en ella se establece el esquema de distribución de competencias entre los tres órdenes de gobierno (federación, entidades federativas y municipios), cuyas responsabilidades se harán efectivas a partir de la elaboración, expedición y aplicación de reformas a leyes, reglamentos, políticas, programas, instrumentos económicos, entre otros. La LGPC tiene como objetivo establecer las bases de coordinación entre los tres órdenes de gobierno en materia de protección civil, involucra a los sectores privado y social para la consecución de sus objetivos (artículo 1º). Esta Ley se desarrolla alrededor de 3 ideas fundamentales: 1) Coordinar las acciones de gobierno a escalas federal, estatal y municipal en materia de protección civil; 2) generar, concertar y conducir la política de protección civil con base en el marco de Gestión Integral del Riesgo (GIR); y 3) mejorar la cultura y profesionalización de la protección civil.

[5] *El lector puede encontrar mayor detalle sobre los obstáculos estructurales de la protección civil en México en la reciente evaluación del Sistema Nacional de Protección Civil en México realizada por la OECD (2013) y en el diagnóstico del Programa Nacional de Protección Civil 2014-2018*

Las concurrencias que la LGPC confiere a diversos órdenes de gobierno están ligadas principalmente a los artículos 7, 8 y 9. Corresponde al ejecutivo federal (artículo 7): asegurar el correcto funcionamiento del Sistema Nacional y dictar los lineamientos generales para coordinar las labores de protección civil, induciendo y conduciendo la participación de los diferentes sectores y grupos de la sociedad en el marco de GIR. Además, el ejecutivo federal debe: promover la incorporación de la GIR en el desarrollo local y regional a través del establecimiento de políticas basadas en el análisis de los riesgos; contemplar en el presupuesto de egresos de la federación de cada ejercicio fiscal, recursos para el correcto funcionamiento y operación de instrumentos financieros; emitir declaratorias de emergencia o desastre de origen natural; promover acciones dirigidas a realizar una estrategia integral de transferencia de riesgos; y dictar lineamientos generales en materia de protección civil. La LGPC también reconoce explícitamente como parte de sus prioridades el conocimiento y la adaptación al cambio climático, en lo referente a sus consecuencias y efectos (párrafo VII).

Los gobernadores de los estados, el jefe de gobierno del Distrito Federal, los presidentes municipales y los jefes delegacionales del Distrito Federal, tendrán dentro de su jurisdicción la responsabilidad sobre la integración y funcionamiento de los sistemas de protección civil (artículo 17). Por su parte, los Poderes Legislativo y Judicial de la Unión, las entidades federativas, los municipios, las delegaciones, los organismos descentralizados, los organismos constitucionales autónomos y los sectores privado y social, así como la población en general, deberán coadyuvar para que las acciones de protección civil se realicen en forma coordinada y eficaz (artículo 8). En suma, la LGPC atribuye el grueso de las facultades al ejecutivo federal, el cual tiene que asegurar el correcto funcionamiento del Sistema Nacional así como dictar los lineamientos generales para coordinar las labores de protección civil en entidades federativas y municipios.

Todos los estados cuentan con una Ley Estatal de Protección Civil publicadas entre 1992 y 2001, pero una tarea pendiente es la armonización de esas leyes estatales con la LGPC como ésta misma lo dispone. El diagnóstico del PNPC 2014-2018 (http://www.proteccioncivil.gob.mx/mx/work/models/ProteccionCivil/Almacen/PNPC.pdf) y la evaluación del SINAPROC por parte de la OECD (2013) resaltan las dificultades para la adaptación plena de las capacidades y las normas locales. Las nuevas responsabilidades que establece la Ley han creado una laguna entre la legislación local actual y la federal, lo que genera nuevas dificultades desde una perspectiva de gobernanza en múltiples niveles. El caso del uso de suelo ilustra esas lagunas y sus consecuencias para regular los asentamientos humanos en zonas de peligro. Otros temas difíciles para algunos estados y municipios son los problemas financieros como la asignación de recursos a nivel federal para fines de prevención de riesgos o la creación de instrumentos de transferencia de riesgos.

El diagnóstico del PNPC 2014-2018 destaca la relevancia de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) dentro del marco jurídico para facilitar una óptima actuación del SINAPROC. Las NOM son regulaciones técnicas de carácter obligatorio que fortalecen y dan elementos jurídicos certeros para aplicar nuevas tecnologías y procesos. En este aspecto, la protección civil se ha quedado rezagada, pues sólo se ha publicado una NOM, la cual regula las señales y avisos para protección civil. Esto se debe a la dificultad de coordinar las propuestas de los integrantes del Comité Consultivo Nacional de Normalización y al poco interés que se ha tenido en promover estas especificaciones técnicas,

ya que con la normatividad existente se atendían las actividades del SINAPROC. El rezago no sólo está en la creación de NOMs, también lo es la verificación de su cumplimiento mediante la evaluación de la conformidad. De esa norma publicada se carece de registro alguno de su cumplimiento, pese a que las autoridades locales lo exigen.

1.6.2. MARCO OPERATIVO

El marco operativo de la gestión de desastres en México tiene como eje central al SINAPROC. El sistema fue creado en 1986 con el objetivo de mejorar las capacidades de protección civil y como un esfuerzo de construir un enfoque integral y sistemático para coordinar las acciones de respuesta y recuperación del sector público ante un desastre, así como fortalecer los vínculos con los sectores privado y social (OECD 2013). Su objetivo ha evolucionado con el tiempo hacia la construcción de un sistema de GIR mejorando la colaboración entre las unidades de coordinación y respuesta ante emergencias, la investigación científica, los sistemas de alerta temprana y el financiamiento de las actividades de reconstrucción. Su marco institucional fomenta la participación de las dependencias del gobierno federal e integra a los organismos competentes de los gobiernos estatales y municipales. La coordinación de los tres órdenes de gobierno es esencial para la GIR de desastres en México. El desarrollo del marco normativo considerado en la sección anterior establece el marco institucional y de políticas públicas para la operación del SINAPROC. El Manual de Organización y Operación del SINAPROC define las funciones y responsabilidades de los diversos actores involucrados en la protección civil. El PNPC 2014-2018 establece las políticas y estrategias de la presente administración en esta materia.

El SINAPROC en México cuenta con un Consejo Nacional, un coordinador general, la Dirección General de Protección Civil, el Fondo Nacional de Desastres Naturales (FONDEN), el Fondo Nacional para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN) y el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). En el SINAPROC están integrados los sistemas estatales de protección civil (incluyendo al Distrito Federal) y sus unidades estatales, así como los sistemas municipales de protección civil y sus unidades municipales.

El SINAPROC ha tenido éxito en integrar las diversas capacidades de respuesta y monitoreo de emergencias en el sector público, en particular en el nivel federal. Sin embrago, los vínculos con los sectores privado y sobre todo el social, son débiles. De igual forma, la creación e integración de capacidades de respuesta a nivel estatal y municipal están menos desarrollados que en el nivel federal (OECD 2013). El diagnóstico del PNPC 2014-2018 y la evaluación del SINAPROC por parte de la OECD (2013) identifican un enfoque predominantemente reactivo en los tres órdenes de gobierno en México con muy poca atención a la prevención de desastres. Una de las recomendaciones más importantes de la OECD es dar fundamento jurídico para cambiar el enfoque tradicional de preparación, rehabilitación y recuperación por un sistema integral para prevenir y reducir los desastres. Algunos artículos del nuevo reglamento de la LGPC publicado en mayo del 2014 están orientados a la prevención de los desastres. Por ejemplo, el artículo 104 promueve el desarrollo de estudios orientados a la gestión de riesgos y el apoyo técnico a favor

de la prevención de desastres. El artículo 59 menciona que las medidas y líneas de acción tendientes a reducir la vulnerabilidad de las zonas susceptibles a ser afectadas, deben realizarse con una visión integral hacia la prevención de desastres. El artículo 107 indica que los instrumentos financieros de la gestión de riesgos deberán de estar orientados a: la identificación y evaluación de peligros, vulnerabilidades y riesgos; a la reducción de riesgos y a evitar la construcción social del riesgo; y al fortalecimiento de las capacidades preventivas y de autoprotección de la población ante situaciones de riesgo. El artículo 108 promueve la creación de políticas, lineamientos y acciones de coordinación en materia preventiva entre federación y estados mediante convenios.

1.6.3. ATLAS NACIONAL DE RIESGOS

La LGPC considera a los atlas de riesgos como un apoyo importante para la planificación del uso del suelo. Su artículo 21 en particular considera a la autoridad municipal como la primera instancia de apoyo a la población en caso de una emergencia. El CENAPRED proporciona directrices y asistencia técnica a los estados y municipios para tratar que sus atlas de riesgos sean más que un inventario de peligros, integrando el análisis de la vulnerabilidad y que cumplan con la norma de interoperabilidad de datos con el Atlas Nacional de Riesgos (ANR). Prácticamente la totalidad de los 31 estados y el Distrito Federal cuentan con atlas de riesgos, pero existe una gran disparidad en su contenido, desarrollo, actualización y facilidad de acceso a ellos por parte de la sociedad civil. El FOPREDEN ha cofinanciado la elaboración y actualización de los atlas de riesgos a nivel municipal usando las metodologías establecidas por el CENAPRED. Sin embargo, sólo un número reducido de los municipios del país cuenta con un atlas de riesgos y muchos de los ya existentes necesitan actualizarse y mejorarse. La mayoría de los atlas municipales de riesgos cuentan con análisis incompletos de la vulnerabilidad social y no son interoperables con el ANR (http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/).

Los atlas de riesgos a nivel municipal son de importancia estratégica para la planificación del desarrollo regional, urbano, rural y sectorial, así como para su correcta implementación. La LGPC vigente define que la coordinación Nacional de Protección Civil podrá capacitar a las autoridades municipales para el análisis de riesgos así como prestar ayuda para la delimitación de zonas de riesgo. Los avances en este sentido son limitados con respecto a las necesidades en México ocasionando que el nivel municipal sea el eslabón más débil del sistema nacional de protección civil en el país. El diagnóstico del PNPC 2014-2018 (2014) destaca este problema y establece entre sus objetivos fomentar la acción preventiva en la gestión integral de riesgos utilizando como indicador las medidas de seguridad para asentamientos humanos localizados en zonas de alto riesgo. El indicador toma la totalidad de los 2,441 municipios, las 16 delegaciones en el DF y las 32 entidades federativas. La línea base en el 2003 indica que sólo el 0.6% de esas unidades cuenta con medidas de seguridad. El Plan establece como meta que para el 2018 el 80.3% de las unidades cuenten con esas medidas de seguridad. Este indicador ilustra la dimensión del problema.

El diagnóstico del PNPC 2014-2018 reconoce que actualmente el ANR se encuentra desactualizado y su escala de representación no permite llevar a cabo consultas sobre el nivel de riesgos existentes en una zona de interés y tampoco identificar con precisión zonas de riesgo y zonas de riesgo grave, siendo las primeras, de acuerdo con la LGPC, en las que existe la probabilidad de que se produzca un daño originado por un fenómeno perturbador y las segundas, donde además, se registra alta vulnerabilidad física o social de asentamientos humanos. Esto resalta aún más la urgencia de actualizar y mejorar los atlas de riesgo estatales y municipales y construir los atlas municipales que aún no se han desarrollado. Es fundamental insistir en la importancia del análisis de la vulnerabilidad social y física en esos atlas, siendo una gran tarea pendiente hasta ahora.

El mismo diagnóstico menciona los siguientes problemas: el SINAPROC enfrenta dificultades para alertar eficazmente a la población debido a la existencia de brechas tecnológicas que impiden la homologación de los sistemas de monitoreo y cobertura de servicios de alerta; el país requiere de infraestructura nacional diseñada de modo resiliente ante fenómenos naturales y antrópicos; las dependencias de la Administración Pública Federal (APF) carecen de conocimientos especializados en gestión de riesgos, así como de mecanismos para compartir información que permitan reforzar su infraestructura y proteger los servicios públicos; las Unidades Internas de Protección Civil del Gobierno de la República han sido consideradas como instancias ajenas a la GIR y no actúan de modo colaborativo en la tarea transversal de reducir sistemáticamente los riesgos e impulsar criterios preventivos en la planeación del desarrollo; no existen programas orientados a la gestión de la continuidad de operaciones, que además de prevenir y minimizar las pérdidas, reduzcan tiempos de recuperación, costos sociales y económicos y que garanticen una respuesta planificada ante cualquier desastre que ponga en peligro su funcionalidad; tanto los municipios, como los gobiernos estatales y las dependencias de la APF no cuentan con estrategias que les permitan hacer frente a fenómenos perturbadores, sin ver detenidas sus actividades primordiales; la participación social en el SINAPROC ha sido mínima, dada la escasa promoción a la cultura de protección civil; la población vulnerable y expuesta a un peligro cuenta con poca información sobre la situación de riesgo en la que vive, limitando su participación en la gestión del riesgo y su capacidad de resiliencia es mínima; persiste la imagen en buena parte de la sociedad de que sólo el gobierno, en sus tres niveles, es responsable único de la atención de la emergencia, quedando en muchas ocasiones limitada su capacidad de respuesta.

Por lo tanto, es urgente llevar a cabo la transición de un enfoque reactivo a uno preventivo en la gestión del riesgo de desastres en México. La falta de una estrategia orientada a fortalecer la capacidad preventiva ha llevado a concentrar los recursos federales en esfuerzos de atención y remedio de los desastres después de ocurridos (OECD 2013). Entre 2004 y 2012 se destinaron 89, 411.92 millones de pesos al FONDEN mientras que únicamente 1,681.42 millones de pesos a los instrumentos preventivos (FOPREDEN y Fideicomiso Preventivo). Entre 2007 y 2014 se ve la misma tendencia (Tabla 1.2); a pesar de que en 2013 gran parte de México quedó devastado por el paso de los huracanes *Ingrid* y *Manuel* y a pesar de que varios ejes estratégicos del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 sugieren un apoyo más fuerte a la prevención, el egreso de la federación para el 2014 no lo refleja (Tabla 1.2). A lo anterior, se debe sumar el deterioro y la poca inversión en infraestructura de las instituciones encargadas del monitoreo de los fenómenos naturales y la prevención.

1.7. VULNERABILIDAD A DESASTRES

Un desastre se refiere a los daños y pérdidas que sufre un sistema cuando uno o varios eventos físicos interactúan con zonas vulnerables alterando gravemente el funcionamiento normal de una comunidad (Lavell et al. 2012). Los desastres afectan la vida, la propiedad, la infraestructura y los servicios ecosistémicos de tal forma que la sociedad y los ecosistemas pueden tardar años en repararse debido a la desigualdad en los procesos de recuperación, apoyo gubernamental y género (Cutter et al. 2012; Lal et al. 2013). De ahí la gran necesidad de conocer el riesgo a las amenazas naturales y de prevenir la ocurrencia de los desastres siguiendo las mejores prácticas de uso de suelo, construcción, vivienda, manejo de cuencas, servicios, uso de información y conocimiento de los peligros naturales que afectan a cada región y sobre todo de reducir la vulnerabilidad social. Algunos factores que agravan la vulnerabilidad y ocurrencia de desastres son:

- *Recurrencia de fenómenos naturales o de cambio climático (extremos y no extremos) que puedan causar daño en zonas particulares del país (p. ej., Figs. 1.2, 1.3, 1.7 y 1.8)*
- *Aumento poblacional y de infraestructura en zonas de peligro*
- *Construcciones no aptas para enfrentar los fenómenos naturales típicos de una región*
- *Mal manejo de cuencas hidrológicas, trasvases entre cuencas e invasión de cauces de ríos*
- *Falta de planificación y su implementación en el desarrollo social y económico*
- *Deforestación, cambio de uso de suelo, desaparición de ecosistemas*
- *Sistemas de drenaje pluvial incompletos o inexistentes en el caso de áreas urbanas*
- *Pobreza y desigualdad social*
- *Falta de alertas tempranas*
- *Pocas o nulas estrategias para la prevención de desastres*

No todos los desastres son producidos por eventos extremos, ni todos los eventos extremos producen desastres; en algunas ocasiones la suma de eventos de menor intensidad puede derivar en un desastre mayor; por ejemplo, una alta frecuencia de eventos de precipitación en una temporada puede generar lluvia estacional mayor de lo normal y producir saturación del suelo, presas al límite de su capacidad, crecientes de ríos, deslizamiento de tierra, desgajamientos de cerros e inundaciones, por lo que es necesario un monitoreo continuo, un manejo adecuado de cuencas, una buena planificación urbana y una fuerte regulación del cambio de uso de suelo urbano, rural y forestal, tratando de favorecer la vocación natural del suelo. En este sentido, el Sistema de Inventario de Efecto de Desastres (www.desinventar.org) documenta un gran número desastres menores que no se derivaron de eventos HMyC extremos, sino de la frecuente ocurrencia de

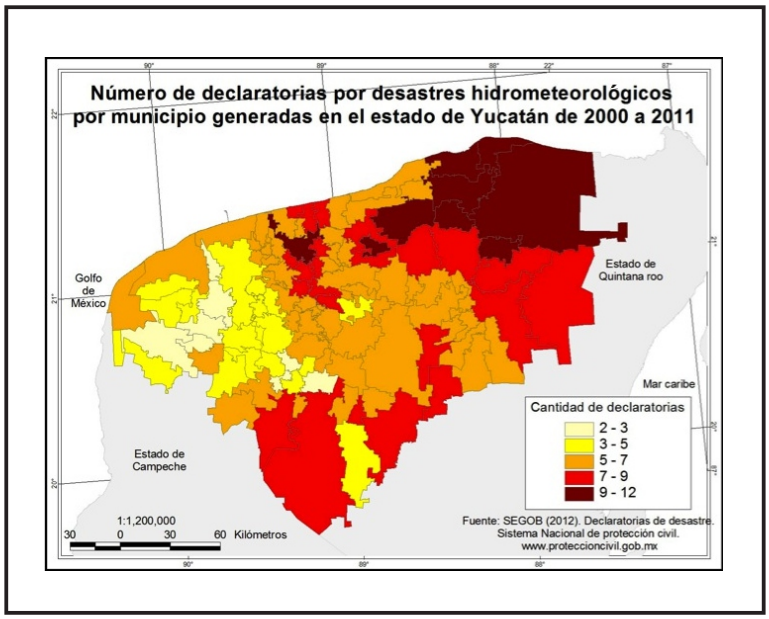
eventos que generaron daños (o desastres) pequeños y de mediana escala que otras bases, como EM-DAT, no reportan (Lavell et al. 2012).

Los eventos extremos naturales o derivados del cambio climático son en cierta forma fáciles de determinar y analizar cuantitativamente en los datos históricos o en los escenarios de cambio climático utilizando umbrales estadísticos a través de percentiles como los mostrados en las Figs. 1.2 y 1.3, o utilizando teoría de extremos y periodos de retorno. Esta información cuantitativa sirve de insumo para la generación de los atlas de peligro y de riesgo. Sin embargo, los eventos hidrometeorológicos menores que se asocian a desastres pequeños son más complicados de estudiar históricamente porque no siempre existe un reporte oficial del desastre o de los impactos; para esto es necesario hacer una investigación hemerográfica a nivel municipal, estatal y nacional y combinar la información del fenómeno físico con parámetros demográficos y socioeconómicos para entender las causas reales del desastre.

El riesgo de desastre depende del riesgo físico (probabilidad de que ocurra un fenómeno natural o de cambio climático y que cause daño), de la vulnerabilidad del sistema (la sensibilidad del sistema y su capacidad adaptativa para responder al impacto) y de la exposición (duración, frecuencia, intensidad, lugar y cantidad de población, infraestructura y servicios expuestos) (IPCC 2012). La vulnerabilidad es una condición dinámica específica a un determinado fenómeno en un determinado tiempo y espacio geográfico (Adger 2006); además, es un factor constante en la ocurrencia de eventos desastrosos y la creciente construcción social del riesgo es un elemento relevante en el estudio de la vulnerabilidad asociada a los eventos HMyC naturales (García Acosta 2008). Una publicación reciente del IPCC (2012) resalta que el cambio climático puede agravar esos eventos. La construcción social del riesgo a desastres conlleva la necesidad de profundizar la dimensión social y humana en el estudio de la vulnerabilidad. Esto ha impulsado a algunos autores (Eakin y Luers 2006; Lemos et al. 2007; Sietz et al. 2011; Soares y Millán 2014) y organizaciones internacionales (IFRC 2008; CARE 2009; World Bank 2011; IISD 2012; World Bank 2012) a priorizar el papel de las comunidades e individuos en el estudio de la vulnerabilidad y en el diseño de acciones para reducirlas, así como en la creación de procesos de adaptación al cambio climático.

Por ello es importante promover el análisis de la vulnerabilidad a escala municipal ya que permite identificar con mayor detalle sus causas y las acciones necesarias para reducirla. Con este fin, en REDESClim se empezaron a hacer evaluaciones de diferentes variables físicas y sociodemográficas a escala local [6] o municipal como las que se muestran en las Figs. 1.7, 1.8 y 1.13. La Fig. 1.13b muestra el número de desastres asociados a eventos hidrometeorológicos en los municipios de Yucatán entre 1970 y 1999 y la Fig. 1.13a presenta las declaratorias del CENAPRED para eventos hidrometeorológicos en ese estado entre 2000 y 2011. La comparación estatal entre ambas figuras permite identificar diferencias en la incidencia geográfica de los desastres en el tiempo y sugiere la necesidad de actualizar periódicamente el análisis de vulnerabilidad. La información de declaratorias del CENAPRED a partir del año 2000 permite un mayor nivel de análisis que la base de datos histórica de DesInventar.

[6] *REDESClim también colabora en el Proyecto del Atlas Climático Digital de México, del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, el cual permite advertir riesgos meteorológicos.*



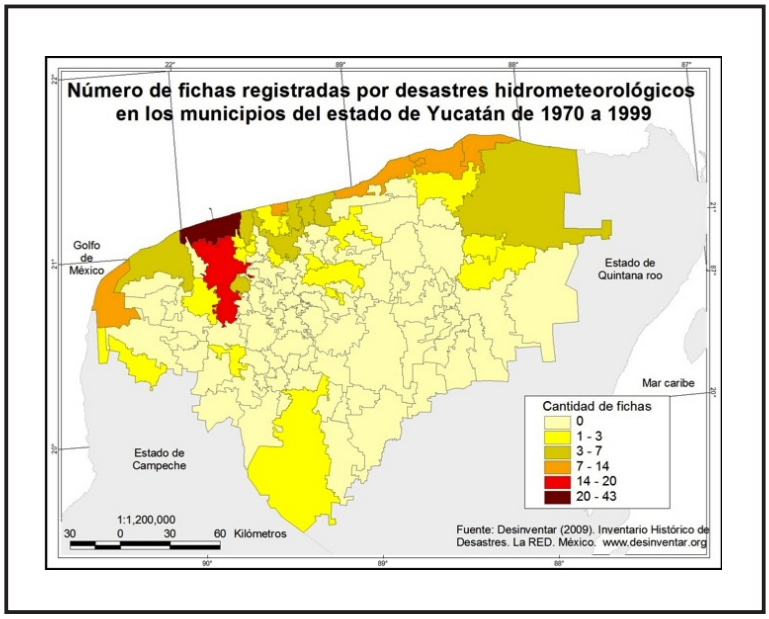
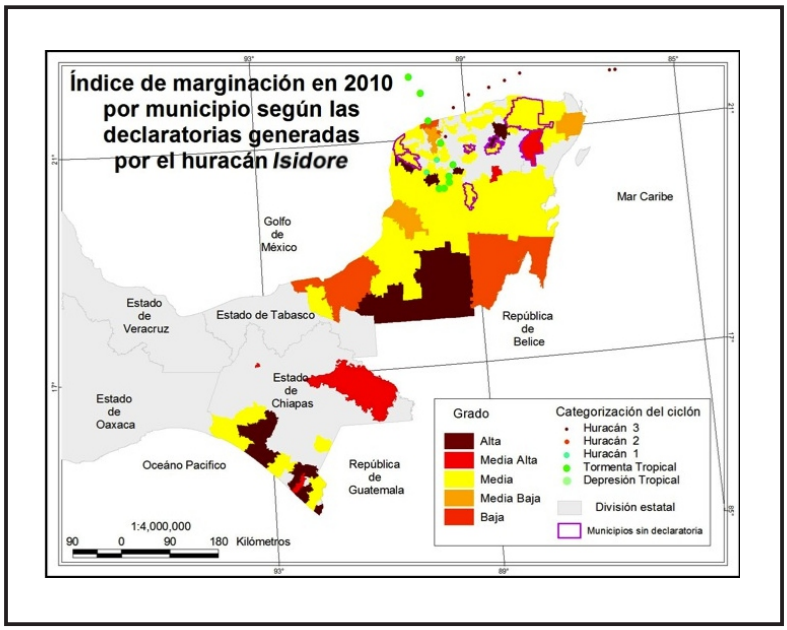


Figura 1.13. (a).: Número de declaratorias por desastres hidrometeorológicos generados en los municipios de Yucatán entre 2000 y 2011. (b).: Número de desastres registrados en los municipios de Yucatán entre1970 y 1999.

La exposición y la vulnerabilidad son acumulativas, por lo que la exposición continua a amenazas no anticipadas incrementa el riesgo de persistencia de la pobreza y la desigualdad social (OECD 2013).

La Fig. 1.14 muestra el caso particular del huracán *Isidore* de categoría 3 que afectó al estado de Yucatán del 21 al 25 de septiembre de 2002. En la figura se observa la ruta del huracán cerca del estado de Yucatán y los municipios con declaratorias del CENAPRED (emergencia y desastre). A partir de estos datos se pueden incorporar otras variables para fortalecer el estudio de impacto y vulnerabilidad a este tipo de desastres a nivel municipal, como por ejemplo la distribución geográfica por municipio de la precipitación total diaria durante los días del evento y el índice de marginación en 2010 en los municipios con declaratorias del CENAPRED, como los que se muestran en la Fig. 1.14. Esta información ayuda a ilustrar el tipo de variables a ser consideradas para el análisis municipal de la vulnerabilidad a eventos HMyC. Esta escala geográfica local es esencial para el diseño de acciones orientadas a reducir la vulnerabilidad, promover la prevención de desastres e iniciar un proceso de adaptación al cambio climático en el marco del desarrollo local (Sánchez Rodríguez 2013; UNDP 2010; UN HABITAT 2011; World Bank 2012).



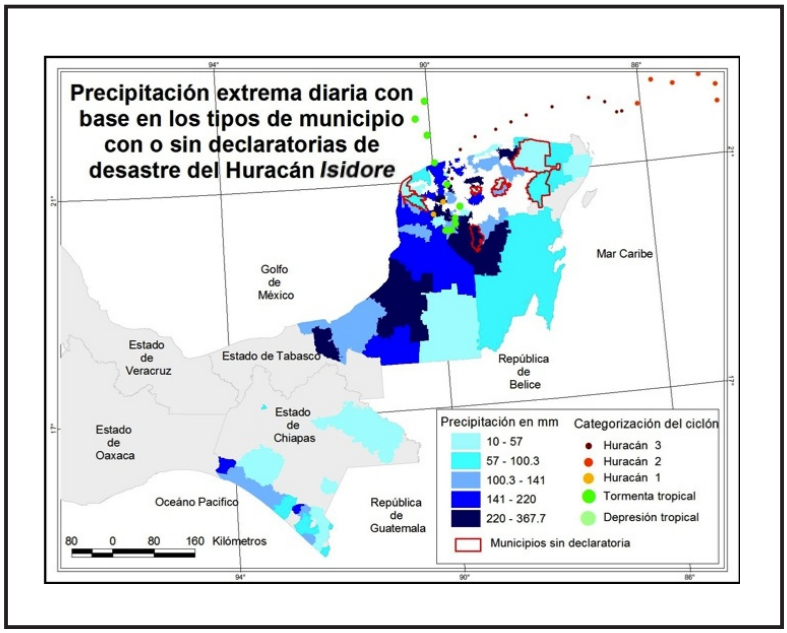


Figura 1.14. (a).: Índice de marginación del 2010. (b).: Precipitación diaria acumulada durante el paso del Huracán Isidore (ver trayectoria con puntos) por Yucatán del 21 al 25 de septiembre de 2002.

El estudio de la vulnerabilidad social a eventos HMyC a nivel municipal en México es aún una tarea incompleta. Los mayores avances se han dado a partir de los Atlas Municipales de Peligros y los Atlas Municipales de Riesgos financiados por el CENAPRED y la Secretaría de Desarrollo Social usando la metodología desarrollada por el CENAPRED (2007). La revisión de esos atlas muestra un esfuerzo por compilar datos e información relevante al análisis de los riesgos a desastres pero pocos de ellos realizan un análisis de la sensibilidad y aún menos de la capacidad adaptativa como elementos de la vulnerabilidad social. La poca atención prestada hasta ahora al estudio de la vulnerabilidad a nivel municipal en México, dificulta el diseño de estrategias de acción para reducir el riesgo de desastres y, sobre todo, para prevenir que los desastres sucedan.

A pesar de que México ha dedicado recursos a la prevención de desastres, existe un desbalance significativo en los últimos años entre la inversión en este rubro con respecto a la inversión en atención de desastres (Tabla 1.2). La evaluación del SINAPROC en México por parte la OECD (2013) identifica en sus conclusiones que México invierte 5 veces más en reconstrucción por efectos de desastres que en prevención, y la Tabla 1.2 indica que en los últimos 8 años el FONDEN recibió en promedio 12 veces más presupuesto que el FOPRODEN. A pesar de que el nuevo marco normativo de protección civil en México y la actualización del SINAPROC resaltan la importancia de la prevención de los desastres, no existen hasta este momento estrategias operativas para cumplir con ese objetivo en la práctica, en particular en el nivel municipal en donde ocurren los desastres. Para avanzar en la reducción del riesgo de desastres, México tiene que cambiar su política de respuesta de emergencia a una de prevención. Esto requiere una coordinación entre los tres órdenes de gobierno y mejores recursos técnicos, humanos, económicos y financieros en los municipios para asegurar por ejemplo, que los atlas de riesgo, entre otras muchas estrategias, estén ligados a acciones concretas de reducción del riesgo de desastres (OECD 2013).

Fomentar una cultura de resiliencia a los desastres significa desarrollar y apoyar programas proactivos, no reactivos; es decir, planes y programas continuos de prevención con una visión de adaptación y mitigación a largo plazo que trasciendan los cambios de gobierno (Cavazos 2012; Sánchez Rodríguez 2013). Esta cultura de protección a la sociedad, a la infraestructura y los sistemas productivos, puede proveer un camino para reducir la vulnerabilidad y los impactos negativos de los riesgos naturales y el cambio climático, mejorando así la calidad de vida y la seguridad de la sociedad y reduciendo la desigualdad social y la pobreza, como lo proponen varios ejes estratégicos del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018.

Los desastres involucran factores físicos, socio económicos, culturales, biofísicos y de manejo que varían en múltiples escalas espaciales y temporales por lo que su estudio requiere de un enfoque interdisciplinario y dinámico.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al programa de Redes Temáticas del CONACYT por el apoyo financiero brindado para la creación y operación de REDESClim durante 2011-2014. Agradecemos a Adelina Albanil Encarnación, Reynaldo Pascual Ramírez y Minerva López Quiroz de la Coordinación General del SMN por contribuir con la información que aparece en la Sección 1.4.1. Los comentarios y sugerencias de varios miembros de REDESClim (Juan Manuel Rodríguez Esteves, Lourdes Romo y Jorge Luis Vázquez) ayudaron a mejorar la visión y contenido. De igual forma, agradecemos a Ernesto Valenzuela por su apoyo en la realización de algunos mapas y a Marcelino García y Eduardo Morales por su apoyo en la recopilación de información y desarrollo parcial de algunas figuras de este capítulo.

Cómo citar este capítulo:

Sánchez-Rodríguez R. y T. Cavazos, 2015: Capítulo 1: Amenazas naturales, sociedad y desastres. En T. Cavazos (Ed.), Conviviendo con la Naturaleza: El problema de los desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos en México. REDESClim, México, Ediciones ILCSA, pp.1-45.

REFERENCIAS

Adger, W. N., 2006: Vulnerability. Global Environmental Change, Vol. 16, No. 3, pp. 268–281.

Anzaldo Gómez, C., J. C. Hernández Esquivel, A. Rivera Vázquez, 2008: Migración interna, distribución territorial de la población y desarrollo sustentable. En La Situación Demográfica de México 2008. Consejo Nacional de Población (CONAPO), México, pp. 129-141.

Brito-Castillo L. y A. Pedrozo-Acuña, 2015: Inundaciones, heladas e incendios forestales. En T. Cavazos (ed.): Conviviendo con la Naturaleza: El problema de los desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos en México. Este libro.

CARE, 2009: Climate Vulnerability and Capacity Analysis. Handbook. CARE.

Cardona, O., Yamin, L., Ordaz, M., Barbat, A., 2011: Probabilistic Modelling of Natural Risks at the Global Level: The Hybrid Loss Exceedance Curve. Development of Methodology and Implementation of Case Studies Phase 1ª: Colombia, Mexico and Nepal. ISDR.

Cavazos, T., 1999: Large-scale circulation anomalies conducive to extreme precipitation events and derivation of daily rainfall in northeastern Mexico and southeastern Texas. J. Climate, 12 (5), 1506-1523.

Cavazos, T., 2011: Challenges of Mexico to face climate change. In J. Klapp et al. (eds.), Experimental and Theoretical Advances in Fluid Dynamics. Springer-Verlag. ISBN: 978-3-642-17957-0. 149-160.

Cavazos, T. (Coord.), 2013: Dos años de logros y retos. Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos, CONACYT, CICESE, México, 44 pp. Disponible en línea en http://redesclim.org.mx.

Cavazos, T. and D. Rivas, 2004: Variability of extreme precipitation events in Tijuana, Mexico. Climate Research, 25, 229-243.

Cavazos, T., R. Sánchez Rodríguez, L. M. Farfán, L. Brito Castillo, F. J. Ocampo Torres, J. M. Rodríguez Esteves, A. Fernández Eguiarte, J. A. Salinas Prieto, M. J. Montero Martínez y A. C. Conde Álvarez, 2013a: Reporte Técnico Final del Programa General de Trabajo 2012. Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos (REDESClim), CONACYT, México, 55 pp. Disponible en línea http://redesclim.org.mx.

Cavazos, T., J. A. Salinas, B. Martínez, G. Colorado, P. de Grau, R. Prieto González, A. C. Conde Álvarez, A. Quintanar Isaías, J. S. Santana Sepúlveda, R. Romero Centeno, M. E. Maya Magaña, J. G. Rosario de La Cruz, Ma. del R. Ayala Enríquez, H. Carrillo Tlazazanatza, O. Santiesteban y M. E. Bravo, 2013b: Actualización de escenarios de cambio climático para México como parte de los productos de la quinta comunicación nacional. Informe Final del Proyecto al INECC, 150 pp. Con resultados disponibles en: http://escenarios.inecc.gob.mx/index2.html.

CENAPRED, 2003: Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México. En O. Zepeda Ramos y S. González Martínez (eds.), Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana. 2ª reimpresión 2003, versión

electrónica 2013. SEGOB, CENAPRED, México, 232 pp.
CENAPRED, 2012: Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2010. SEGOB, 160 pp., México, ISBN: 978-607-7558-25-5. Disponible en línea: http://www.cenapred.unam.mx
CENAPRED, 2013: Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2011. CENAPRED, México, 1ª Edición, 403 pp. Disponible en línea: http://www.cenapred.unam.mx
Cutter, S., B. Osman-Elasha, J. Campbell, S.-M. Cheong, S. McCormick, R. Pulwarty, S. Supratid, and G. Ziervogel, 2012: Managing the risks from climate extremes at the local level. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 291-338.
De la Maza, R., 2012: Guía para la Armonización de Instrumentos Legales y Económicos de Estados y Muncipios Conforme a la Ley General de Cambio Climático. En, Antonio Mediavilla y Ana Silvia Arrocha (supervisores), Mexico Low Emissions Development Program (MLED). Mexico, USAID/México.
De Sherbinin, A., Schiller, A., Pulsipher, A., 2007: The vulnerability of global cities to climate hazards. Environment and Urbanization 19(1): 39-64.
De Sherbinin, A., 2013: Climate Change hotspots mapping: what we have learned? Climatic Change.
Diamond, J., 2005: Collapse. How Societies Choose to Fail or Succeed. Peinguin Group, New York, NY, pp. 575.
Diario Oficial, 2014: Decreto por el que se aprueba el Programa Nacional de Protección Civil 2014-2018. Tercera Sección-Extraordinaria, 39 pp, Miércoles 30 de Abril de 2014. http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Almacen/PNPC.pdf
Eakin, H. y A. L. Luers, 2006: Assesing the vulnerability of social-environmental systems. Ann. Rev. Environ. Resour., 31, 365-394.
EIRD, 2008: Plataforma temática en riesgo urbano y otros entornos municipales en América Latina y el Caribe. Documento técnico de referencia. Bogotá, Colombia. Estrategia Internacional de Naciones Unidas para la Reducción de Desastres.
ENACC, 2013: Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40. Gobierno de la República, México, 60 pp.
Englehart, P. J., y A. V. Douglas, 2005: Changing behavior in the diurnal range of surface air temperatures over Mexico. Geophysical Research Letters Vol. 32, L01701, doi:10.1029/2004/GL021139.
EM-DAT, 2011: Emergency Events Database of the Centre for Research of the Epidemiology of Disasters, CRED, Université Catholique de Louvain in Belgium and World Health Organization Collaborative Centre.
FAO, 2009: Food for the Cities brochure. Rome. ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/ak824e/ak824e00.pdf Revisado el 5 de febrero de 2014.
Farfán, L. M., R. Prieto, J. N. Martínez-Sánchez y R. Padilla, 2015: Ciclones tropicales y su influencia en México. En T. Cavazos (ed.): Conviviendo con la Naturaleza: El problema de los desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos en México. Este libro.
GAR, 2013: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2013. United Nations. ISBN 978-92-1-132038-1.

García Acosta V., 2008: Introducción. El estudio histórico de los desastres. Una década de reflexiones en América Latina. En V. García Acosta (Coord.), Historia de los Desastres en América Latina, Vol III. Publicaciones de la Casa Chata, México, D. F.

García Acosta V., J. F. Audefroy y F. Briones (Coord.), 2012: Estrategias sociales de prevención y adaptación. Ciesas, México D. F., 152 pp.

García-Cueto, R., T. Cavazos, P. de Grau and N. Santillán, 2014: Analysis and modeling of extreme temperatures in several cities in northwestern Mexico under climate change conditions. Theoretical and Applied Climatology, DOI: 10.1007/s00704-013-0933-x, Online ISSN 1434-4483.

Giner R.A., L. C. Fierro y L. F. Negrete, 2011: Análisis de la problemática de la sequía 2011-2012 y sus efectos en la ganadería y la agricultura de temporal. CONAZA, SAGARPA, Boletín No. 5, México.

Green Solutions, 2012: Zonas metropolitanas de México. ProMéxico, Gobierno Federal. Obtenido en línea el 28 de enero de 2014 (http://www.greensolutions2012.com.mx/pdfs/zonasMetropolitanas.pdf).

Gutiérrez Aja, A., 2011: Elementos necesarios para un adecuado esquema de transferencia de riesgos – La experiencia Mexicana. Munich Re, 2011, Geo Risk Research; presentado en Tegucigalpa, Honduras el 3 de Agosto de 2012.

IFRC, 2008: Análisis de la vulnerabilidad y la capacidad. Caja de herramientas con fichas de referencias. Ginebra, Suiza. Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja (IFRC).

IISD, 2012: CRISTAL User's Manual Version 5. Community-based Risk Screening Tool- Adaptation and Livelihoods. IISD, IUCN, Helvetias, SEI. Manitoba, Canada. The International Institute for Sustainable Development.

INEGI, 2011: Censo de Población y Vivienda 2010: Panorama sociodemográfico de México. INEGI, México, 54 pp., ISBN 978-607-494-175-3.

IPCC AR4, WG1, 2007: Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K.B.; Tignor, M.; and Miller, H.L., ed., Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, ISBN 978-0-521-88009-1.

IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.

ISDR, ITC, UNDP, 2010: Local Governments and Disaster Risk Reduction. Good Practices and Lessons Learned. A contribution to the "Making Cities Resilient" Campain. Geneva, Switzerland. The United Nations Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction (ISDR).

Juarez B. and E. W. Hansen, 2012: México grain and feed annual report. Prolonged drought devastates grain and feed sector. USDA Foreign Agriculture Service, GAIN Report MX2018, 25 pp.

Khamis, M. Y Osorio, C., 2013: America del Sur: Una visión regional de la situación de riesgo de desastres. Estrategia Internacional de Naciones Unidas para la Reducción de Desastres y Comisión Europea. Ginebra, Suiza.

Lavell, A., M. Oppenheimer, C. Diop, J. Hess, R. Lempert, J. Li, R. Muir-Wood, and S. Myeong, 2012: Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience. En: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 25-64.
Lal, P.N., T. Mitchell, P. Aldunce, H. Auld, R. Mechler, A. Miyan, L.E. Romano, and S. Zakaria, 2012: National systems for managing the risks from climate extremes and disasters. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 339-392.
Landsea, C. W., G. A. Vecchi, L. Bengtsson, and T. R. Knutson, 2010: Impact of duration thresholds on Atlantic tropical cyclone counts. J. Climate, 23, 2508-2519.
Lemos, M.C., E. Boyd, E. Tompkins, H. Osbahr, and D. Liverman, 2007: Developing Adaptation and Adapting Development. Ecology and Society 12 (2): 26 [online] URL: http://www.ecologyandsociety.org/vo112/iss2/art26/.
Mansanilla, L., 1997: Early urban societies: challenges and perspectives. En: Emergence and Change in Early Urban Societies [L. Mansanilla, Ed.], Springer, New York, NY, pp. 316.
Magaña, V. O., J. L. Vazquez, J. L. Perez, and J. B. Perez, 2003: Impact of El Nino on precipitation in México. Geofisica Internacional, 42, 313-330.
Martinez, F., 2014: Costará $45 mil millones atender daños de Ingrid y Manuel: SG. La Jornada, 22 de junio 2014, p. 31.
Méndez, M., and V. Magaña, 2010: Regional aspects of prolonged meteorological droughts over Mexico and Central America. J. Climate, 23, 1175–1188.
Monroy, J., 2014: Segob vs aseguradoras, en guerra por daños de lluvias. El Economista, 10 de junio de 2014.
Morss R.E., O.V. Wilhelmi, G.A. Meehl, and L. Dilling, 2011: Improving societal outcomes of extreme weather in a changing climate: an integrated perspective. Annual Review of Environment and Resources, 36, 1-25.
OECD, 2013: OECD Reviews of Risk Management Policies: Mexico 2013. Review of the Mexican Civil Protection System. Paris, OECD.
Pavia E.G., F. Graef, and J. Reyes, 2006: PDO-ENSO effects in the climate of México. J. Climate, 19 (24).
Seager, R., M. Ting, I. Held, Y. Kushnir, J. Lu, G. Vecchi, H. Huang, N. Harnik, A. Leetma, N. Lau, C. Li, J. Velez and N. Naik, 2007: Model projections of an imminent transition to a more arid climate in southwestern North America. Science, 316, 1181-1184.
Seneviratne, S.I., N. Nicholls, D. Easterling, C.M. Goodess, S. Kanae, J. Kossin, Y. Luo, J. Marengo, K. McInnes, M. Rahimi, M. Reichstein, A. Sorteberg, C. Vera, and X. Zhang, 2012: Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 109-230.
Sánchez Rodríguez R., 2013: Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina. UN, CEPAL, IAI, Santiago de Chile, ISBN 978-85-99875-08-7.

Sánchez Rodríguez R., 2013: IV. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. En R. Sánchez Rodríguez (Ed.), Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina. UN, CEPAL, IAI, Santiago de Chile, ISBN 978-85-99875-08-7.

Sánchez Rodríguez R., T. Cavazos y A. E. Morales Santos, 2015: Plan Estratégico Nacional para la prevención y la reducción del riesgo de desastres asociados a eventos hidrometeorológicos y climáticos en México. En T. Cavazos (ed.): Conviviendo con la Naturaleza: El problema de los desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos en México. Este libro.

Seto, K., R. Sánchez Rodríguez, and M. Fragkias, 2010: The New Geography of Contemporary Urbanization and the Environment. Annual Review of the Environment and Resources, 35, 167-19.

Sietz, D., et al., 2011: Mainstreaming climate adaptation into development assistance: rationale, institutional barriers and opportunities in Mozambique. Environmental Science & Policy, 14, 493-502.

Soares, D. y G. Millán 2014: Construcción social del riesgo y la vulnerabilidad en la costa de Yucatán. En Soares, D., G. Millán e I. Gutiérrez (Eds.), Reflexiones y expresiones de la vulnerabilidad social en el Sureste de México. IMTA, México, pp. 208-236, ISBN: 978-607-7563-89-1.

Soares, D., G. Millán e I. Gutiérrez (Eds.), 2014: Reflexiones y expresiones de la vulnerabilidad social en el Sureste de México. IMTA, México, 316 pp., ISBN: 978-607-7563-89-1.

Stahle, D. W., E. R. Cook, J. Villanueva-Diaz, F. K. Fye, D. J. Burnette, R. D. Griffin, R. Acuna-Soto, R. Seager and R. R. Heim, 2009: Early 21st- century drought in México. EOS, Transactions, 90 (17), 89-100.

Stahle, D. W., D. J. Burnette, J. Villanueva-Diaz, R. R. Heim, F. K. Fye, J. Cerano Paredes, R. Acuna-Soto and M. K. Cleaveland, 2012: Pacific and Atlantic influences on Mesoamerican climate over the past millennium. Clim. Dyn., 39:6, 1431-1446.

Topics Geo, 2012: Natural catastrophes 2012: Analyses, assessments, positions. Munich Re, 2013 issue, 66 pp.

UNDP, 2004: User´s Guidebook for the Adaptation Policy Framework. United Nations Development Programme, New York.

UNDP, 2010: Designing Climate Change Adaptation Initiatives. A UNDP Toolkit for Practitioners. New York. United Nations Development Programme.

UN-HABITAT, 2011: Cities and Climate Change. Global Report on Human Settlements 2011. UN-HABITAT.

UN-HABITAT, 2013: The State of World Cities Report 2012/3. UN-HABITAT.

UNISDR, 2013: Informe de síntesis: Consultas sobre un marco después del 2015 para la reducción del riesgo de desastres (HFA2). Consultado el 27 de octubre de 2013, http://www.unisdr.org

World Bank, 2011: Climate Change, Disaster Risk and the Urban Poor. Cities Building Resilience for a Changing World. Washington, D.C. The World Bank.

World Bank, 2012: Building Urban Resilience: Principles, Tools and Practice. The World Bank. Washington, D.C.

CAPÍTULO 2

CICLONES TROPICALES Y SU INFLUENCIA EN MÉXICO

LUIS M. FARFÁN[1], RICARDO PRIETO[2], JULIO MARTÍNEZ-SÁNCHEZ[1,2] Y RAYMUNDO PADILLA[3]

[1] Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C.
[2] Servicio Meteorológico Nacional, Comisión Nacional del Agua
[3] Universidad de Colima

RESUMEN

Se presentan características generales de ciclones tropicales (CTs) que han ocurrido en las cuencas del Atlántico Norte (AN) y el Pacífico Oriental Tropical (POT) con el objetivo de documentar su desarrollo en los mares intraamericanos y, en particular, su impacto en la zona costera de México. Estas dos cuencas tienen una actividad moderada de CTs durante el verano y parte del otoño y en este trabajo se analiza el período de 1970 a 2010, el cual presenta la mejor disponibilidad de datos en términos de detección y confiabilidad. Durante los 41 años del periodo de interés, México recibió un total de 141 eventos de entrada a tierra de los cuales más del 60% ocurrieron en la costa occidental y, de forma colectiva, se asociaron a varios millones de afectados así como más de mil muertos. Cabe aclarar que el año 2013 se caracterizó por un grave desastre en México asociado a los huracanes *Ingrid* en el Golfo de México y *Manuel* en la costa del Pacífico, los cuales se describen en el Capítulo 1 de este libro.

La presencia de CTs puede dar lugar a cambios relevantes en las condiciones normales del tiempo a lo largo de las costas y regiones en el interior del continente. Por esta razón, en este capítulo se analizan las características de los CTs que han afectado a México así como las herramientas de predicción anticipada y emisión de alertas tempranas para implementar acciones de protección a la población. Se hace una descripción general del proceso de predicción en los cambios de posición e intensidad de los CTs así como de las técnicas actuales de modelación. Por último, se presenta una revisión de la variabilidad natural asociada a los CTs y el posible impacto del cambio climático en los mismos.

Chapter 2

Tropical cyclones and their influence in Mexico

ABSTRACT

We present general characteristics of tropical cyclones (TCs) that have occurred in the North Atlantic (NA) and the Eastern Tropical Pacific (ETP) with the objective of documenting the TC development in the Intra-American Seas and, in particular, their impact on the coastal area of Mexico. These two basins have a moderate activity during the summer and part of the fall and the selected period for the analysis is from 1970 to 2010,which presents the best available data in terms of detection and reliability. During the 41 years of this period, Mexico received a total of 141 landfall events of which more than 60% occurred on the west coast and, combined, they are associated with several million of affected population as well as more than one thousand deaths. It is important to notice that 2013 was characterized by a major disaster in Mexico associated with hurricanes Ingrid in the Gulf of Mexico and Manuel in the Pacific, which are described in Chapter 1 of this book.

The presence of TCs can result in relevant changes in the normal weather conditions along the coasts and inland regions. Therefore, this chapter deals with characteristics of TCs that have affected Mexico along with early prediction tools and early warning to perform actions for population protection. A general description of the process to predict position and intensity changes as well as current modeling techniques are also presented. At the end, a brief review of the natural variability associated with TCs as well as the possible impact of climate change on these systems is also presented.

2.1. INTRODUCCIÓN

Los ciclones tropicales (CTs) son vórtices atmosféricos que se desarrollan sobre regiones oceánicas relativamente cálidas y cercanas al ecuador. En el hemisferio norte, los caracteriza una circulación cerrada que gira en el sentido contrario a las manecillas del reloj y que se desplaza varios miles de kilómetros durante periodos que van de algunos días hasta un par de semanas. Como ejemplo, la Fig. 2.1 muestra un CT al momento de aproximarse a la península de Baja California durante la temporada 2012.

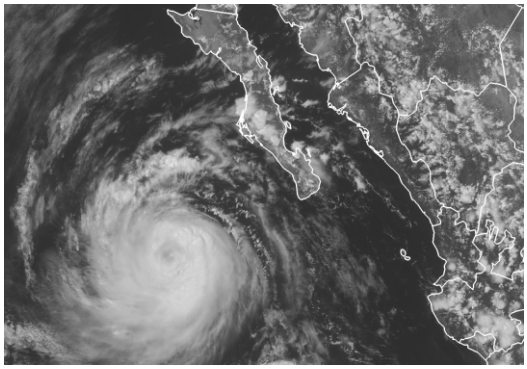


Figura 2.1. Imagen de satélite GOES 15 (banda visible) del ciclón tropical *Ileana*. Esta imagen corresponde a la hora local 14:30 del 31 de agosto 2012 mientras que *Ileana* tenía vientos máximos de 111 km/h y movimiento hacia el noroeste.

Los CTs inician como sistemas de circulación débiles y grupos de nubes poco organizadas que pasan a través de varias etapas de evolución para convertirse en sistemas intensos con un diámetro entre 500 y 1,000 kilómetros. Algunas veces, su cercanía al continente se convierte en una fuente de condiciones del tiempo adversas en las áreas pobladas, pero también es una fuente benéfica de humedad y, eventualmente, recursos hídricos para la recarga de presas y la agricultura de temporal.

De acuerdo a la velocidad máxima de viento sostenido en la superficie, los CTs se clasifican en depresión tropical, tormenta tropical o huracán (Tabla 2.1). La escala Saffir-Simpson (Simpson 2003) es una clasificación que se basa en los niveles de impacto para huracanes de acuerdo a la rapidez del viento máximo sostenido mayor a 118 km/h. Esta escala estima el daño potencial que puede ser causado por el viento. Los huracanes categorías 1 y 2 presentan vientos peligrosos y requieren medidas preventivas al encontrarse cercanos a la costa mientras que los huracanes de categoría 3, 4 o 5 son considerados huracanes mayores debido a su mayor potencial para provocar pérdida de vidas humanas y daños materiales.

En general, alrededor del continente americano, la actividad ciclónica se limita a la época cálida del año y en ciertas subcuencas regionales. La Fig. 2.2 muestra las

CLASIFICACIÓN	VIENTO (km/h)	NIVEL DE DAÑO
Depresión tropical	**< 64**	
Tormenta tropical	64-119	
Huracán, categoría 1	120-153	Limitado
Huracán, categoría 2	154-177	Moderado
Huracán, categoría 3	178-208	Extenso
Huracán, categoría 4	209-251	Devastador
Huracán, categoría 5	**> 251**	Catastrófico

Tabla 2.1. Clasificación de intensidad basada en la velocidad máxima sostenida.

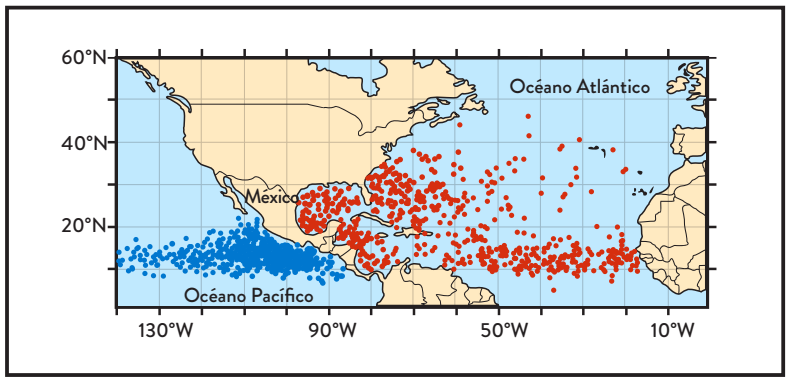


Figura 2.2. Distribución de ciclones tropicales en las cuencas del Océano Atlántico Norte y Pacífico Oriental Tropical. Los puntos en color indican posiciones de inicio para más de 1,000 ciclones tropicales que se han registrado entre 1970 y 2010.

cuencas del Pacífico Oriental Tropical (POT) y Atlántico Norte (AN); esta última abarca desde la costa occidental de África (10-20°W) hasta el Mar Caribe (60-90°W) y Golfo de México (85-95°W). El POT es una de las cuencas más productivas en el mundo con respecto a la densidad espacial (o número de ciclones por unidad de área) después del Pacífico Occidental (McBride 1995). La región principal de formación y desarrollo se delimita al oeste por 140°W hasta la costa occidental de Centroamérica y México.

La combinación de las costas oriental y occidental de México tiene una longitud de más de 10,000 kilómetros, de los cuales más de dos terceras partes están a lo largo del Pacífico. Además, los resultados del censo 2010 de INEGI *(http://www.censo2010.org.mx)* se utilizan para estimar que los 17 estados en la zona costera contribuyen con el 46% de la población total del país. Por lo anterior, hay elementos suficientes para otorgar atención especial a estas zonas con respecto a los estudios de impacto.

Además, por sus litorales, las penínsulas de Yucatán en el sureste (16-22°N) y Baja California en el noroeste (23-33°N) ocupan una proporción importante, 16 y 30 % respectivamente. Estas zonas, como se discutirá después, son las de mayor impacto por CTs en el país.

El monitoreo de la presencia de CTs se inició a mediados del siglo XIX; las primeras observaciones provenían de informes de barcos mercantes y posteriormente, de aviones. Esta información fue relevante para identificar patrones de circulación asociados a la formación, intensificación, disipación e impacto sobre tierra. A partir de la década de los años 1970 se empezaron a utilizar otros métodos; los más importantes y confiables se basan en radares meteorológicos y satélites geoestacionarios. Este tipo de satélites cuenta con sensores localizados en una órbita que se encuentra a más de 35,000 km sobre la superficie de la tierra y se desplazan con la misma velocidad angular que la tierra. En la actualidad, existe la capacidad de monitorear el desarrollo de sistemas atmosféricos con frecuencia temporal de menos de 15 minutos.

Cada temporada, a partir de mayo y hasta diciembre, se desarrollan en promedio 26 CTs combinados en las dos cuencas que rodean a México. Estos sistemas proporcionan cambios en el contenido de humedad, nubosidad y lluvia sobre varios países incluyendo México. Una característica oceanográfica única es la alberca del agua de mar cálida *(> 28.5°C,* Wang y Enfield 2001*)* que se extiende en la costa oriental frente al Mar Caribe y Golfo de México así como a varios cientos de kilómetros de la costa al sur de México *(*e.g., Corbosiero et al. 2009, Amador et al. 2006*)*. Esta condición se combina con aire húmedo e inestabilidad en la atmósfera para favorecer el desarrollo de convección profunda y precipitación intensa, los cuales son elementos fundamentales en circulaciones atmosféricas bien organizadas. En cambio, aire más fresco, seco y estable se encuentra al oeste de la península de Baja California y en el AN debido a la presencia de flujo típico de latitudes medias y a los anticiclones subtropicales; estos factores pueden proporcionar condiciones para debilitar a los sistemas tropicales en desarrollo.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) estableció que el Centro Meteorológico Regional Especializado para actividades de análisis, seguimiento y predicción de CTs de la Región IV es el Centro Nacional de Huracanes *(*CNH,http://www.nhc.noaa.gov*)* de los Estados Unidos. Esta región incluye a América del Norte, América Central y el Caribe. El Comité de Huracanes de la región IV, en su primera reunión de 1978, dio un nuevo enfoque a sus problemas al elaborar el Plan Operativo sobre Huracanes para lograr una cooperación y coordinación más eficaces entre los países en cuanto a la preparación, publicación de predicciones y avisos meteorológicos sobre CTs que afectan a la zona. En este plan se definen las responsabilidades de todos los miembros cooperantes en materia de observación, predicción y aviso así como otros asuntos de terminología y comunicaciones.

En México, el Servicio Meteorológico Nacional *(*SMN, http://smn.cna.gob.mx*)*, dependiente de la Comisión Nacional del Agua, es el organismo encargado de difundir al público los boletines y avisos oficiales de las condiciones del tiempo atmosférico. Durante la temporada de CTs, si existe un CT activo, el CNH y SMN emiten boletines con información de la posición de su centro, tamaño y movimiento de traslación, así como una estimación de la intensidad de viento sostenido, ráfagas y lluvia esperados en el transcurso de los siguientes días. Esta información se publica cada 6 horas y la frecuencia se modifica a 3 horas durante las horas previas a la entrada a tierra.

2.2. FORMACIÓN, FRECUENCIA ANUAL Y VARIABILIDAD

Los CTs en el AN y en el POT se originan principal-mente a partir de ondas del este que se propagan desde el Océano Atlántico a través del Mar Caribe y Centro-américa (e.g. Avila y Pasch 1992, Molinari et al. 1997). Otros mecanismos de generación de CTs en la región incluyen desprendimientos de vórtices de mesoescala desde la Zona de Convergencia Intertropical e intrusiones de aire seco desde la troposfera (Vincent y Fink 2001, Wang y Magnusdottir 2006). La Fig. 2.2 muestra la distribución espacial de CTs durante el periodo de 1970 a 2010. Cada punto representa la posición inicial del conjunto de datos recopilado por el CNH. La mayoría de los sitios de detección inicial se limitan a una zona cerca de las costas del Pacífico mexicano, entre 5°–20°N y 90°–110°W (Martínez-Sánchez y Cavazos 2014). Pocos ciclones se forman al sur de 5°N o al norte de 20°N en el POT, y al norte de 40°N en el AN.

Una revisión de la base de datos del CNH para el POT indica que durante el periodo 1970-2010 se desarrollaron 619 CTs. Esto significa un promedio anual a largo plazo de 15 eventos por temporada (Fig. 2.3a), mientras que el promedio en el AN es de 11 (Fig. 2.3b), derivado de un total de 468 CTs. Una vez formados los ciclones tienden a desplazarse hacia el oeste y norte. Normalmente, el primer CT del POT se presenta en la segunda quincena de mayo mientras que en el AN la actividad inicia en junio (Fig. 2.4).

La Fig. 2.3 muestra la variación temporal de CTs en ambas cuencas y de los que entraron a tierra por costas mexicanas. De manera combinada, hubo un mínimo en la actividad durante 1977 (14 casos) en comparación con un máximo de 43 en la temporada 2005. En esta temporada se desarrollaron 28 CTs en el AN (7 de ellos entraron a tierra). La frecuencia de entrada a tierra también varía, con un máximo de 9 CTs en 1971 en el POT. No hubo eventos en tierra durante la temporada 1991, pero en esta temporada el centro de circulación de varios sistemas pasó entre 50 km y 300 km de las costas de México.

La variabilidad de los CTs en el POT ha sido explorada poco en comparación con la del AN, posiblemente porque impactan con menor frecuencia a zonas densamente pobladas de Estados Unidos (Collins y Mason 2000, Ralph y Gough 2009, Corbosiero et al. 2009). Martínez-Sánchez y Cavazos (2014) muestran que la frecuencia decadal de huracanes del POT se comporta en forma opuesta a la del AN, es decir cuando hay un periodo activo en el AN hay una tendencia a que haya menor actividad en el POT debido a la influencia de la Oscilación Multidecenal del Atlántico (OMA) y la Oscilación Decenal del Pacífico (ODP). Esta oposición en la actividad de los CTs en ambas cuencas ha sido estudiada por diversos autores utilizando diversas variables (Wang y Lee 2009, Maue 2009 y 2011).

Aunque el papel de la OMA en la actividad de CTs en el AN ha sido estudiado ampliamente (e.g., Goldenberg et al. 2001, Trenberth y Shea 2006), dicha relación ha sido poco explorada en el POT (Martínez-Sánchez y Cavazos 2014). En la Fig. 2.3 al considerar todos los CTs (no sólo huracanes) se observa claramente una tendencia positiva en el AN con un periodo activo después de 1990, el cual coincide con la fase cálida de la OMA. La frecuencia de huracanes en ambas cuencas se ve afectada también por la influencia del fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS) (e.g., Landsea et al. 1998, Romero-Vadillo et al. 2007, Camargo et al. 2010, Gutzler et al. 2013) y por la presencia de la alberca del agua cálida del océano, especialmente en el verano cuando ésta alcanza su extensión máxima (Martínez-Sánchez y Cavazos 2014).

La relación entre el ENOS y CTs en el AN ha sido documentada ampliamente (e.g. Gray 1984, Goldenberg y Shapiro 1996, Kimberlain 1999, Pielke et al. 1999, Larson et al. 2004, Camargo et al. 2009, Frank y Young 2007, Bove et al. 2008). En el POT, la fase fría del ENOS conocida como La Niña se caracteriza por una disminución en la frecuencia de huracanes, pero especialmente los de categoría 4 y 5 debido a una contracción de la alberca del agua de mar cálida y un aumento en los valores de la cortante vertical del viento entre 1.5 y 12 km, mientras que en la fase cálida o El Niño la alberca se expande y la cortante del viento disminuye lo que favorece una mayor generación de huracanes intensos, en comparación con los eventos de La Niña; un comportamiento inverso se observa en el AN (Martínez-Sánchez y Cavazos 2014). Lupo et al. (2008) mencionan que una fase cálida de la ODP y un evento El Niño favorecen una temporada de huracanes más activa en el POT, mientras que Martínez-Sánchez y Cavazos (2014) muestran que esta relación se mantiene sólo para los huracanes de categorías 4 y 5; ellos también documentan que la probabilidad de ocurrencia de huracanes 4 y 5 y los que entran a tierra es similar durante años Neutrales y años de El Niño.

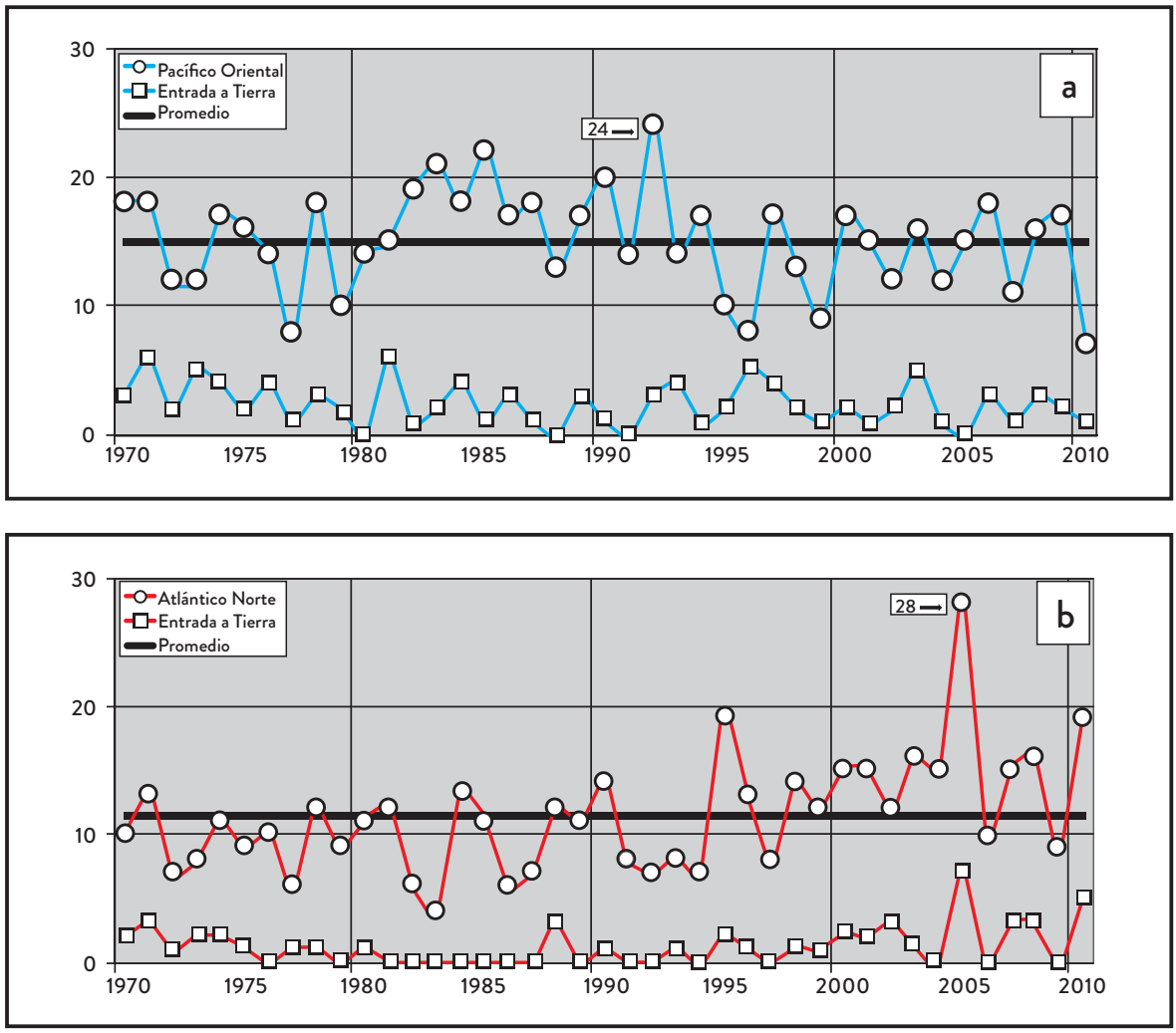


Figura 2.3. Serie de tiempo del número de CTs que se han registrado en las cuencas del POT (a) y el AN (b) en el periodo 1970-2010. Los círculos indican el total de ciclones tropicales mientras que los cuadros representan el número de casos que entraron a tierra por México. Los valores en rectángulos indican valores máximos de cada cuenca y las líneas negras los promedios (15 en a y 11 en b) del periodo.

2.2.1. TRAYECTORIAS

Para identificar patrones de distribución espacial, las trayectorias de los CTs se pueden dividir en grupos mensuales, como se muestran en la Fig. 2.4. Los meses más activos son agosto y septiembre con más de 350 ciclones en ambas cuencas. Estos datos son consistentes con los resultados que Rosengaus et al. (2002) reportaron para el periodo 1951-2000. Las trayectorias tienen una componente substancial hacia el oeste, aunque dependiendo del mes y cambios estacionales en el flujo atmosférico de escala sinóptica, algunos de ellos adquirieren una componente hacia el norte. Una trayectoria importante es la que sigue un movimiento con componente hacia el este, definida como recurvatura. Según Allard (1984), entre 1966 y 1980 más del 15% de los ciclones en el POT recurvaron; estos sistemas son de relevancia para México porque tienen una probabilidad muy alta de entrar a tierra por su costa occidental. Los sitios por los que los CTs entraron a tierra, a lo largo de las costas, se muestran en la Fig. 2.5. En el POT, Martínez-Sánchez y Cavazos (2014) observan que las trayectorias de los huracanes son más extensas en condiciones Neutrales y El Niño que durante la fase de La Niña, alcanzando inclusive latitudes extratropicales (> 30°N), posiblemente debido a una mayor extensión de la alberca de agua cálida.

En el AN, la actividad ocurre sobre una región geográfica más amplia, pero durante condiciones El Niño hay una menor frecuencia de CTs y la región de formación está desplazada más hacia el norte. Según Chu (2004), en esta región, años El Niño están asociados con un número menor de huracanes y una menor probabilidad de entrada a tierra por la costa de los Estados Unidos. Durante años La Niña esta costa se enfrenta a mayor riesgo de entrada a tierra de CTs. La región de formación se desplaza al sur, hacia el ecuador, de manera que el Mar Caribe es más vulnerable durante la fase tardía de la temporada.

2.2.2. ENTRADA A TIERRA

Los desastres asociados a fenómenos naturales ocurren, principalmente, por la influencia de factores socioeconómicos y culturales que inciden en la exposición de la población a los efectos de estos eventos y tipos de vulnerabilidades, tales como escolaridad, género, estatus socioeconómico, acceso a servicios públicos o el grado de marginación, que determinan las respuestas sociales ante la presencia de una amenaza natural como los CTs (Bankoff 2004). Del total de comunidades asentadas en las costas, un 8% se ubica en zonas de muy alto riesgo y un 12% en alto riesgo ante los efectos e impactos de los CTs (Gómez 2008), con excepción del estado de Chiapas, donde se ha documentado el menor número de impactos por CTs.

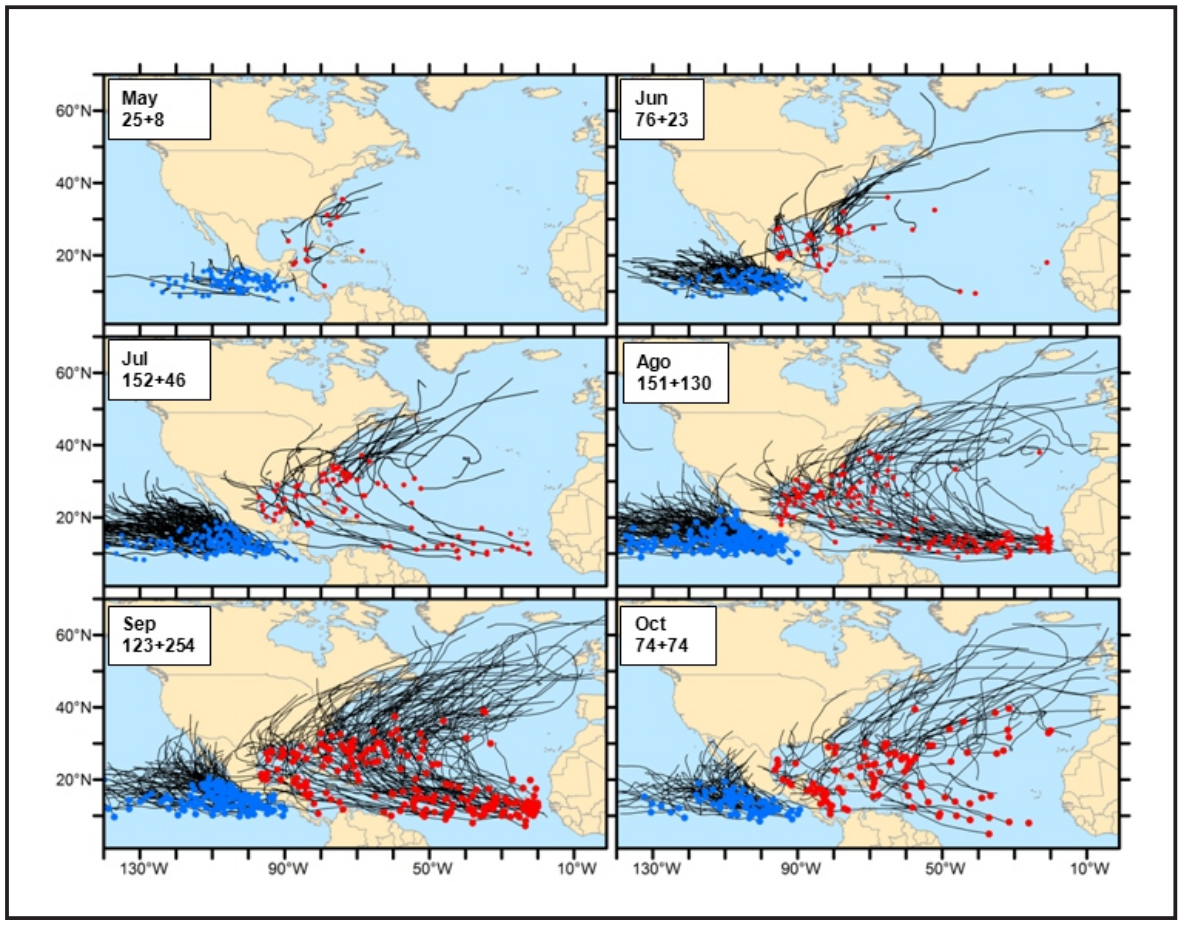


Figura 2.4. Trayectorias de ciclones tropicales, entre 1970 y 2010, que representan el movimiento del centro de cada ciclón y están agrupadas con respecto al mes de inicio, desde mayo a octubre. Los números representan los ciclones que se forman en cada cuenca (izquierda, POT: Pacifico Oriental Tropical; derecha, AN: Atlántico Norte). Los puntos en color indican sitios de inicio de los ciclones tropicales correspondientes para las cuencas del Atlántico (rojo) y Pacífico (azul).

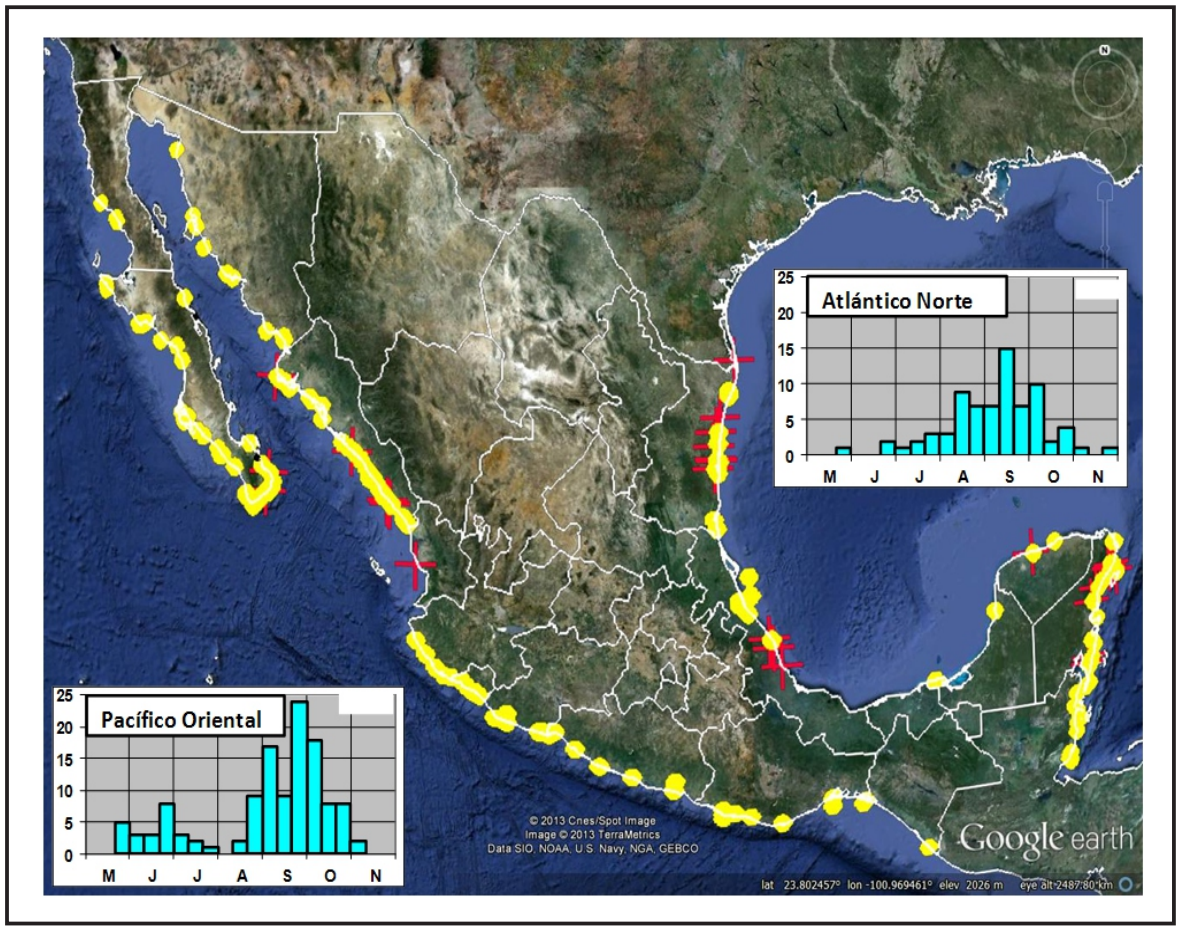


Figura 2.5. Topografía de México y sitios de entrada a tierra de CTs entre 1970 y 2010. Los círculos en las costas indican l88 sitios de entrada y los símbolos más (+) rojos son 30 ciclones tropicales que entraron a tierra con intensidad 3, 4 o 5 (huracanes mayores) en la escala Saffir-Simpson. Las barras azules indican el porcentaje de CTs que entraron a tierra en periodos de 10 (u 11) días entre los meses de mayo (M) y noviembre (N).

Farfán et al. (2013) utilizaron la base de datos de EM-DAT para identificar desastres relacionados con CTs que entraron a tierra durante el período 1970-2010. Casi 2 millones de personas se vieron afectadas y hubo más de 1,700 muertos. Lluvias torrenciales, inundaciones o deslizamientos de tierra son efectos que han influido en los desastres y esto es consistente con lo que se conoce por el impacto de CTs a nivel global (Negri et al. 2005).

Los patrones temporales de entrada a tierra por México indican que la mayoría de eventos han ocurrido desde agosto hasta octubre y la intensidad al momento de ingreso al continente ha estado dominada por tormentas tropicales (40%), huracanes de categoría 1 (19%) y depresiones tropicales (16%). En el POT, la entrada a tierra más frecuente es en septiembre y octubre, especialmente en años Neutral y El Niño (Martínez-Sánchez y Cavazos 2014). Las frecuencias más altas a nivel nacional se observan en Quintana Roo, en la región oriental de la Península de Yucatán, mientras que la mayoría de los impactos en la costa occidental han ocurrido por el noroeste, en Baja California Sur y Sinaloa. Este patrón es consistente con resultados de otros estudios (Jáuregui 2003, Martínez-Sánchez y Cavazos 2014). Sin embargo, cuando se calcula la razón de la frecuencia de CTs con respecto a la longitud normalizada por extensión de la costa, Sinaloa y Colima aparecen como los estados con densidad máxima. En cambio, Tamaulipas y Quintana Roo tienen la mayor densidad de CTs que entran a tierra por la costa este y, más importante aún, es donde la mayoría de los huracanes mayores aterrizaron durante las últimas cuatro décadas. Se puede considerar que estas zonas es donde los CTs podrían generar cambios importantes en los patrones estructurales y productividad de los ecosistemas terrestres y marinos.

En el POT, las trayectorias de los CTs que han entrado a tierra pueden clasificarse como cercanas o, aproximadamente, paralelas a costa, o también como alejadas cuando siguen una recurvatura hacia el noreste (Farfán et al. 2012). Es lógico pensar que la cantidad de precipitación que se recibe en el continente depende de la intensidad y dimensión del CT así como de la distancia del centro a la línea de costa pero también de la interacción y duración del flujo con la topografía del terreno. Datos de lluvia para este tipo de trayectorias han sido estudiados por Ritchie et al. (2011) quienes determinaron que las trayectorias que recurvan proporcionan patrones de lluvia tanto al suroeste de Estados Unidos (Arizona, Nuevo México y Colorado) como al norte de México y zona costera del Golfo de México mientras que las trayectorias que se alejan de las costas o que son paralelas a la costa del Pacífico tienden a limitar las lluvias a los estados del occidente y sur del país. Para los CTs que han causado mayor impacto a la población en la costa occidental de México, los valores máximos de lluvia, en periodos de 3 días alrededor de la entrada a tierra, están en el rango de 200 mm a 600 mm (Farfán et al. 2013).

La Tabla 2.2 muestra una selección de los CTs que han entrado a tierra y causado el mayor número de afectaciones en México. La entrada a tierra se define como el paso del centro de la circulación a través de la línea de costa, desde el mar al continente, y se asocia con vientos fuertes, oleaje elevado así como precipitación intensa. Con frecuencia, hay daños extensos a los bienes materiales de la población en varios cientos de kilómetros alrededor de la zona de impacto. En términos de pérdidas humanas, los peores CTs registrados en el periodo de interés se asocian a precipitaciones intensas e inundaciones como las ocurridas durante el paso del huracán *Liza* que en 1976 dañó una presa e inició una inundación que resultó en la muerte de 600 personas en Baja California Sur (Farfán et al. 2013) y, por el número de afectados, el huracán *Pauline* (1997) se asocia a más de 800,000 personas en los estados de Oaxaca y Guerrero.

En cambio *Stan* y *Wilma*, de la temporada extremadamente activa de 2005 en el AN (Beven et al. 2008), se asocian con un total de casi 2 millones de personas afectadas, como se ve en la Tabla 2.2 y en la Tabla 1.1 del Capítulo 1.

En la base de datos EM-DAT se establece que el mayor número de afectados por un CT es de 29 millones en China de la temporada 2006, mientras que se estimaron 300,000 muertos en 1970 durante la entrada a tierra de un CT en Bangladesh. En Estados Unidos, el huracán *Katrina* causó la mayor cantidad de muertos (1,833) así como una cantidad substancial de afectados (500,000) durante la temporada 2005 del AN.

Tabla 2.2. Huracanes que han causado daños significativos en México desde 1970 a 2010. Las cuencas de origen son el Atlántico Norte (AN) o Pacífico Oriental Tropical (POT). Los eventos están clasificados de acuerdo a la estimación de población afectada. La intensidad se refiere a la categoría del huracán en la escala Saffir-Simpson que va de 1 (H1, débil) a 5 (H5, muy intenso). La precipitación máxima (mm) es la acumulada durante un periodo de 3 días con respecto a la fecha de entrada a tierra. Fuente de datos: EM-DAT (http://www.emdat.be).

	AÑO	NOMBRE (CUENCA)	INTENSIDAD MÁXIMA	FECHA	POBLACIÓN AFECTADA	MUERTOS	Pmáx. (mm/72h)
1	2005	*Stan* (AN)	H1	2-Oct	**1,954,571***	7	361
2	2005	*Wilma* (AN)	H4	21-Oct	1,000,000	36	770
3	1997	*Pauline* (POT)	H2	8-Oct	800,200	230	423
4	2002	*Isidore* (AN)	H2	22-Sep	500,030	13	212
5	2008	*Dolly* (AN)	H4	15-Sep	500,000	2	160
6	1976	*Liza* (POT)	H3	1-Oct	276,400	**600***	425
7	2006	*Lane* (POT)	H3	16-Sep	240,700	4	299
8	2010	*Karl* (AN)	H3	17-Sep	230,000	12	456
9	2010	*Alex* (AN)	H2	1-Jul	170,000	22	**875***
10	2007	*Dean* (AN)	H5	Ago 21	140,000	9	331
11	1988	*Gilbert* (AN)	H5	15-Sep	100,000	240	350
12	2009	*Jimena* (POT)	H2	2-Sep	72,000	4	487
13	1977	*Anita* (AN)	H5	2-Sep	50,000	10	198
14	1982	*Paul* (POT)	H2	30-Sep	50,000	225	602
15	1995	*Ismael* (POT)	H1	15-Sep	40,000	105	234
				TOTAL	**6,123,901**	**1,519**	

***Valores máximos**

2.3. PREDICCIÓN

Los modelos físicos que representan las trayectorias e intensidad de los CTs ayudan, a través de los pronósticos y las alertas tempranas, a que la población de lugares en riesgo pueda tomar medidas de prevención con el fin de evitar la pérdida de vidas y reducir daños materiales. Debido a la complejidad física de los CTs, su representación por medio de modelos dinámicos permite predecir con suficiente anticipación las características de la tormenta, su evolución temporal y posibles impactos en diferentes regiones del país. Esta información es muy útil en el desarrollo de pronósticos regionales, alertas tempranas y diagnóstico. Aquí se mencionan algunos ejemplos del tipo de análisis que se pueden realizar con diferentes variables:

- *La cantidad y distribución espacial y temporal de lluvias que acompañan a los CTs.*
- *El oleaje y marea de tormenta provocados por vientos y variaciones de presión.*
- *La interacción del CT con otras circulaciones cercanas así como con otros CTs.*
- *La influencia de vórtices oceánicos en la intensificación de CTs.*

A lo largo de la historia, han existido esfuerzos para construir modelos numéricos que permitan hacer este tipo de aplicaciones. Los modelos simulan la evolución de las masas de aire en la atmósfera partiendo de los valores de las variables físicas conocidas como condición inicial.

Estas simulaciones se hacen considerando los principios físicos de conservación de masa, cantidad de movimiento y energía expresados como ecuaciones diferenciales. Las variables físicas que se predicen son la velocidad del viento, presión atmosférica, temperatura, humedad relativa y densidad del aire, entre otras. Debido a la complejidad del sistema de ecuaciones, no existen soluciones analíticas a las mismas, por lo que se resuelven mediante versiones numéricas aproximadas en computadoras. El modo preciso en el que se plantean y resuelven las ecuaciones depende en gran medida de la forma en que resuelven las soluciones, lo cual es determinado por diferentes grupos de modelación.

2.3.1. LOS MODELOS NUMÉRICOS

En el CNH se monitorean permanentemente el AN y el POT, desde mayo a noviembre, con el fin de determinar la formación, desarrollo y disipación de CTs. En caso de que se forme uno de estos fenómenos, se publica el pronóstico oficial de la posición del centro del CT y vientos máximos durante los siguientes cinco días. Un ejemplo gráfico de este tipo de pronóstico se muestra en la Fig. 2.6. En la temporada 2010, *Alex* entró a tierra por Tamaulipas, como huracán categoría 2 y en la base de datos EM-DAT (Tabla 2.2) se le asocia con 22 muertos así como 17,000 afectados, con impactos adicionales en Nuevo León y Coahuila.

En la actualidad se utilizan diferentes modelos de pronóstico numérico para analizar fenómenos meteorológicos. Las características que definen a cada uno dependen de su resolución espacial, tiempo máximo de pronóstico y área geográfica (local, regional o global). Por mencionar algunos modelos de cobertura global, se cuenta con el Sistema Global de Pronóstico de Estados Unidos (GFS por sus siglas en inglés), el modelo del Servicio Meteorológico del Reino Unido (UKMET), el Sistema de Predicción Atmosférica de la Marina de Estados Unidos (NOGAPS) y el modelo del Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas de Plazo Medio (ECMWF). Estos modelos se usan como guía y constituyen la componente fundamental de las herramientas utilizadas por el personal operativo del CNH y del SMN de México. Uno de los modelos de mesoescala que se utiliza es el HWRF (Hurricane Weather Research and Forecasting). Este último es un modelo de alta resolución espacial, de 3 a 30 km aproximadamente, enfocado a cobertura regional. Se aplica desde la temporada 2007 tanto para la cuenca del AN como la del POT. A diferencia de otros modelos, HWRF cuenta con una representación de las interacciones que ocurren entre el océano y la atmósfera lo cual lo hace más apropiado al interpretar sus resultados.

A partir de su formación, y con la ayuda del monitoreo de cada CT, se desarrollan pronósticos de trayectoria e intensidad que se actualizan cada 6 horas en un proceso que continúa hasta la disipación del vórtice. Una vez que se tienen los resultados de los modelos numéricos, se realizan análisis adicionales. Por ejemplo, se comparan los mapas de salida de diferentes variables del modelo regional y del global, imágenes de satélite, los pronósticos anteriores, datos observados y la experiencia de los meteorólogos para emitir el pronóstico que se pone a disposición de las autoridades y del público en general tan pronto como sea posible.

Mientras que las predicciones de trayectoria de CTs han estado mejorando en las últimas décadas, existen dificultades para mejorar las predicciones de intensidad. Los cambios de intensidad se deben a la combinación de varios factores, entre ellos la interacción del CT con zonas cálidas o frías en la superficie del océano o regiones en la que la estructura de la atmósfera presenta cambios del viento con la altura. Algunas de las técnicas que se exploran para tratar de obtener mejores resultados son, por ejemplo, la mejor representación en la condición inicial del vórtice, la asimilación de datos para representar de manera realista los campos iniciales de las variables y la representación más adecuada (en los modelos) de los procesos físicos que ocurren dentro del CT.

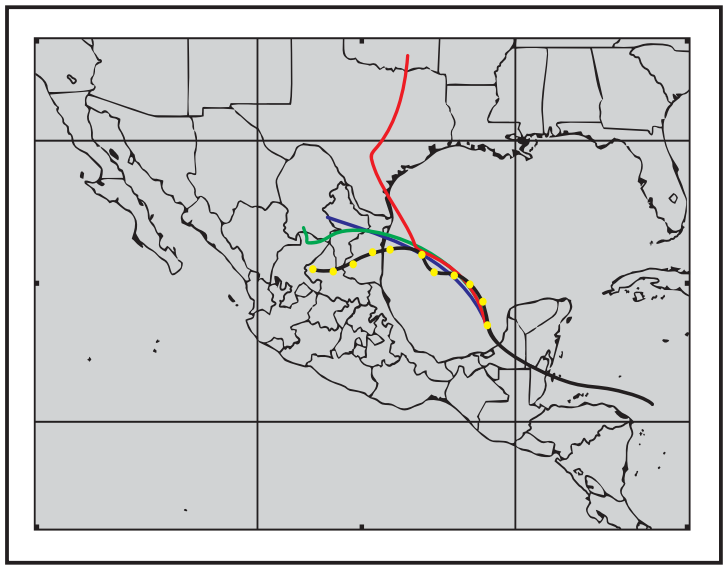


Figura 2.6. Trayectoria observada (línea negra con puntos amarillos) del ciclón tropical *Alex*, 24 de junio al 2 de julio de 2010. Los puntos amarillos indican posiciones de su centro. Se incluye el pronóstico oficial de trayectoria emitido a la hora 18 GMT por el Centro Nacional de Huracanes (azul) así como los pronósticos de los modelos GFS (verde) y HWRF (rojo).

2.3.2. ALERTAMIENTO TEMPRANO

El Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales (SIAT-CT; Fig. 2.7) a través del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) es una respuesta del Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) para la administración de emergencias en caso en que un CT pueda amenazar a la población en México. El SIAT-CT organiza las principales acciones que deben ser tomadas y está dirigido al personal del SINAPROC así como a sus dependencias y organismos de apoyo. Fue desarrollado por un grupo de trabajo compuesto por miembros de diversos perfiles que fueron convocados por el SINAPROC, como por ejemplo el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). El documento correspondiente se puede consultar en esta dirección: http://geografica.cenapred.unam.mx/DocumentosSIAT/SIAT_CT.pdf

A partir de su implementación en el año 2000, el SIAT-CT ha permitido una mejor preparación de todos los sectores involucrados ante la llegada de un CT a nuestro país. Esto se ha reflejado en la reducción de pérdidas de vidas humanas, mejor coordinación de las autoridades, organizaciones y población en general, así como mejor organización de las actividades de recuperación una vez que el fenómeno ha dejado de representar peligro para el país.

El sistema de alertamiento se encuentra en una evolución constante. Hasta el momento se han desarrollado dos versiones, además se ha implementado un sistema de cómputo que automatiza la elaboración de los mapas y divulga los resultados a través de una página electrónica de consulta restringida, para usuarios autorizados a través de una clave de ingreso. Esto ha servido de manera importante para la elaboración de los boletines de alertamiento por CT emitidos por el SINAPROC durante las temporadas más recientes. El SIAT-CT ha definido una serie de medidas generales que deben ser implementadas en cada una de las etapas por los integrantes del SINAPROC; las etapas están definidas por cinco colores, los cuales van desde peligro mínimo a máximo, en orden ascendente de acuerdo a la proximidad del fenómeno y grado de peligrosidad definido como un promedio de sus vientos máximos y del tamaño del CT.

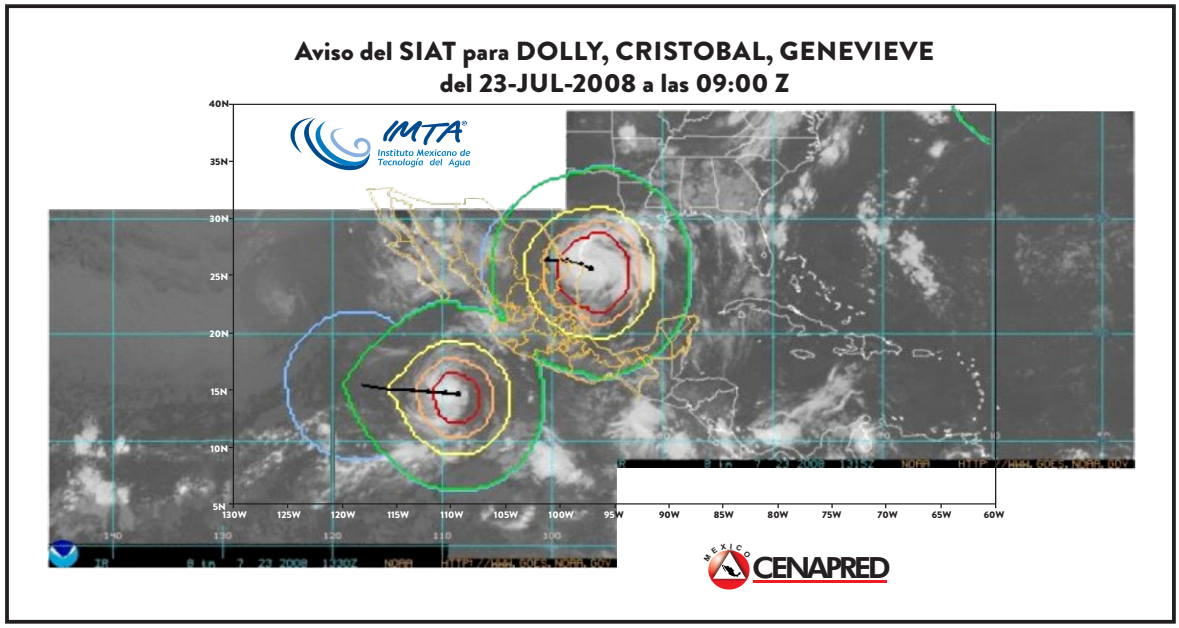


Figura 2.7. Sistema de alerta temprana de ciclones tropicales (SIAT-TC) del CENAPRED y SINAPROC.

2.4. PRONÓSTICOS ESTACIONALES

Con el fin de tener información de utilidad para la planeación de actividades, con plazos de anticipación de varios meses, los pronósticos estacionales de CTs estiman la actividad de una temporada con respecto a la climatología de temporadas anteriores. Han sido desarrollados desde la década de los años 1980s (Camargo et al. 2007) y a partir de entonces se han aplicado metodologías, tanto estadísticas como dinámicas, para las distintas regiones donde se desarrollan. Por tener limitaciones para estimar el impacto a nivel de ciudad, estado o país estos pronósticos no se encuentran adaptados para ser utilizados por las agencias públicas correspondientes. Además, este tipo de predicciones deben de ser tomadas con reservas debido a las incertidumbres que se pueden presentar con respecto a la realidad.

Para las cuencas que rodean a México, el SMN publica pronósticos antes y durante la temporada de verano de la estimación del número de CTs que se espera observar en el POT y el AN con respecto al promedio histórico de la temporada. Esto es, cuántos CTs habría con respecto a los 11 o 15 CTs del AN o POT, respectivamente (ver Fig. 2.3). La cuenca del Atlántico ha sido estudiada ampliamente por un grupo de la Universidad del Estado de Colorado (http://tropical.atmos.colostate.edu/forecasts). Sus pronósticos se hacen con respecto al periodo que inicia desde 1981 y se basa en varios elementos tales como la temperatura actual y futura del océano, la presencia de eventos ENOS, la presión atmosférica en superficie en zonas oceánicas, etc. Para el POT, el SMN elabora predicciones que toman en cuenta (entre otros factores) condiciones oceanográficas y atmosféricas, la distribución e intensidad de nubosidad en los trópicos así como años considerados análogos. Estos son los años que muestran las mayores correlaciones con las condiciones oceánicas y atmosféricas de la temporada de interés.

2.5. INVESTIGACIÓN APLICADA

Una de los beneficios adicionales de los modelos numéricos de mesoescala como los descritos en la Sección 2.3 es que se pueden realizar pronósticos aplicados por los usuarios. Esto es, el usuario puede implementar modificaciones (con respecto a las condiciones reales) y de esta manera hacer una estimación de los cambios que estas condiciones provocarían en la evolución del CT. Por ejemplo, se puede alterar la posición o intensidad inicial del vórtice atmosférico para determinar qué tan sensible es el modelo en la trayectoria simulada.

En caso de entrar a tierra se pueden estudiar los escenarios y sitios de impacto. El modelo atmosférico de mesoescala HWRF cuenta con una versión pública disponible en este sitio: http://www.dtcenter.org/HurrWRF/users/index.php. Como parte de las actividades de la Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos (REDESClim; http://redesclim.org.mx) se ha trabajado en la instalación del modelo HWRF en un sistema de cómputo de CICESE. El modelo se ha aplicado a más de 10 eventos de entrada a tierra de las temporadas 2006-2010 y se analiza diariamente desde 2014 (http://met-hwrf.cicese.mx/). Básicamente, el modelo recibe información del estado inicial del vórtice, así como de las condiciones que le rodean, del modelo global GFS y se hacen integraciones numéricas en el tiempo hasta un máximo de 5 días. Los resultados incluyen campos tridimensionales con resolución espacial de 3 kilómetros, lo cual permite analizar con más detalle la interacción entre el vórtice, océano adyacente y topografía del continente en la zona costera. Por ejemplo, la Fig. 2.8 muestra la estructura del huracán *Norbert* al momento de cruzar tierra por la Península de Baja California. Se ilustra el campo de viento superficial aunque el modelo también incluye campos de temperatura, humedad y lluvia lo que lo convierte en una herramienta poderosa en el estudio de condiciones que pueden generar desastres.

El paso de los huracanes *Manuel*, por el Pacífico, e *Ingrid*, por el Golfo de México, del 13 al 20 de septiembre de 2013, y el paso por Baja California Sur del huracán *Odile* el 15 de septiembre de 2014, representaron una gran oportunidad en REDESClim para pronosticar la evolución de estos sistemas con el HWRF en forma operacional. La Fig. 2.9 muestra las líneas de corriente de la circulación a 10 m de los huracanes *Ingrid* y *Manuel* y la precipitación asociada. Como se mencionó en la Sección 2.3, uno de los problemas más complejos en la predicción de corto plazo es determinar la intensidad de un sistema. Sin embargo, es un gran avance tener un modelo regional como el HWRF que de forma rutinaria combina la influencia de la atmósfera y el océano para simular el comportamiento de ciclones tropicales.

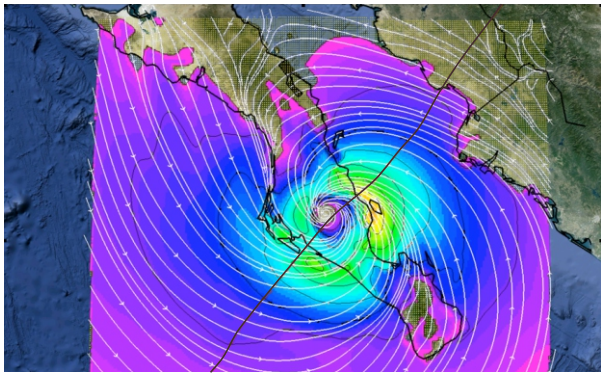


Figura 2.8. Representación de la estructura de viento durante la entrada a tierra del huracán *Norbert* por Baja California Sur el 12 de octubre de 2008. Se muestran las líneas de corriente a 10 metros sobre el nivel del mar, o terreno, mientras que los colores representan la magnitud de viento. El sombreado amarillo al norte de la Bahía de la Paz indica los vientos más intensos (> 40 m/s, categoría 2). Los puntos amarillos indican algunos puntos de la malla de cómputo utilizada, de 3 kilómetros. La línea café es la trayectoria de Norbert en el modelo HWRF.

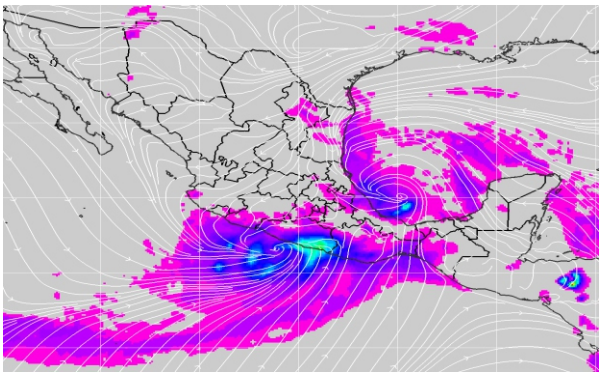


Figura 2.9. Simulación numérica del modelo HWRF para el huracán *Manuel* antes de entrar a tierra por el estado de Guerrero y el huracán *Ingrid* en el Golfo de México. Se muestran las líneas de corriente a 10 m y la precipitación a las 10 AM (hora local) del 14 de septiembre de 2013. El sombreado en azul y celeste indica las zonas con mayor lluvia (> 400 mm).

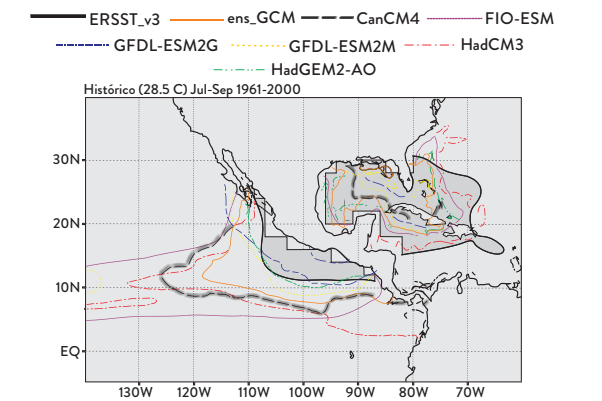


Figura 2.10. Distribución espacial de la alberca de agua cálida (temperatura superficial del mar > 28.5°C) durante el periodo histórico de Julio-Septiembre de 1961 a 2000. Datos observados de temperatura (ERSST_v3; Smith et al. 2008) y simulaciones históricas de seis modelos de circulación general y su ensamble promedio (ens_GCM) que indican el tamaño de la alberca de agua cálida del mar. El sombreado gris indica datos observados. Los datos de los modelos para una sola realización fueron obtenidos de http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/data_portal.html

2.6. CALENTAMIENTO GLOBAL

En la última década, diversos autores (e.g. Webster et al. 2005, Elsner et al. 2008) han identificado un incremento en la frecuencia e intensidad de los CTs a nivel global, principalmente desde los años 70. Algunas proyecciones basadas en modelos teóricos y dinámicos indican un posible incremento en la intensidad de los CTs bajo condiciones de calentamiento global (e.g. Knutson y Tuleya 2004, Emanuel 2006, Knutson et al. 2010). Para el AN, Vecchi y Soden (2007) muestran que en general los modelos climáticos globales predicen un aumento en los valores de la cortante del viento y temperatura superficial del mar, lo cual a su vez disminuiría la actividad de los ciclones tropicales. Sin embargo, *Emanuel* (2006) indica que la razón de calentamiento podría ser mayor que la razón del incremento del corte del viento, de tal forma que aún no es claro cuál será la respuesta de los CTs bajo condiciones de calentamiento global; para esto es necesario hacer estudios históricos y de escenarios de cambio climático con modelos dinámicos regionales (*downscaling*) para poder capturar las características de los CTs, como lo sugieren Sheffield et al. (2014) y Fuentes-Franco et al. (2014).

Resultados preliminares de la combinación de 6 modelos de circulación general del Proyecto de Intercomparación de Modelos fase 5 (CMIP5) muestran una alberca de agua del mar más débil (más pequeña) en el AN que la observada en el período 1961-2000, mientras que los modelos sobreestiman el tamaño de la alberca en el Pacífico, indicando un comportamiento semejante a un evento El Niño (Fig. 2.10); esto es consistente a lo documentado por Martínez-Sánchez y Cavazos (2014). De los seis modelos elegidos, el que mejor reproduce el ciclo anual y el tamaño de la alberca en el POT es el modelo HadGEM2-AO, aunque subestima el tamaño de la alberca en el AN. Sheffield et al. (2013) encontraron que este modelo subestima fuertemente el número de CTs observados lo que sugiere, como ya se sabe, que hay muchos otros factores que se deben de considerar para poder simular adecuadamente a los CTs.

2.7. COMENTARIOS FINALES

En la actualidad, para realizar el monitoreo continuo de CTs, se combina la información recibida desde diversas redes observacionales (satélites, radares, estaciones meteorológicas, reportes de barcos, etc.) con los productos derivados de la modelación numérica; es decir, se hace una asimilación de las observaciones en tiempo real para mejorar los pronósticos numéricos. Con esta información se generan pronósticos que sirven para generar los boletines de las alertas tempranas para beneficio de la población. La protección civil es un asunto que concierne a todas las personas en un país o región (Rosengaus 1998); una de las principales recomendaciones a las autoridades que utilizan los productos operativos es que en sitios cercanos a la costa, la presencia de un solo CT es suficiente para considerar que puede haber afectaciones en la región, por lo que es necesario estar preparado debido a la alta vulnerabilidad que existe ante fenómenos meteorológicos en nuestro país.

La información obtenida de los censos más recientes (INEGI, http://www.inegi.org.mx) revela que la población en México ha aumentado drásticamente y, que en 2010, había 9 millones de habitantes más que en 2005. Los estados de mayor crecimiento poblacional en zonas costeras son Quintana Roo y Baja California Sur; además, los desarrollos turísticos son importantes para los estados, pero el riesgo por daños de CTs también es alto. Esto sugiere que esos estados requieren atención especial para reducir los impactos a la población e infraestructura. Una manera para realizar esta tarea es generando mejores pronósticos y alertas tempranas, esenciales para dar advertencia previa de eventos de entrada a tierra. Sin embargo, un aspecto importante a considerar es la interpretación correcta de productos gráficos difundidos ampliamente por los medios de comunicación. Interpretaciones incorrectas pueden conducir a conclusiones incorrectas con respecto a la trayectoria, tamaño, intensidad y región de impacto (Broad et al. 2007). Por ello, se han propuesto acciones de educación para grupos y sectores específicos, tales como el esfuerzo descrito por Farfán et al. (2010) en el que estudiantes latinoamericanos participan en cursos cortos de entrenamiento sobre la teoría y el pronóstico de los CTs, así como sobre sus repercusiones sociales y económicas. Por último, este capítulo no incluyó en las estadísticas la actividad de los CTs del periodo 2011-2014. Sin embargo, recientemente ocurrieron varios desastres asociados al paso de los huracanes *Ingrid* y *Manuel* en el 2013 (Fig. 2.9), los cuales se describen en el Capítulo 1 de este libro; y el huracán *Odile* en el 2014 que afectó considerablemente a Baja California Sur. Estos eventos están siendo estudiados mediante observaciones regionales y con la aplicación del modelo HWRF. También hay otros grupos y miembros de REDESClim que estudian el impacto de las mareas de tormenta usando modelos dinámicos de mesoescala. La combinación de estos estudios es de importancia para los análisis de vulnerabilidad.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado parcialmente por el CONACYT (Fondo de Investigación Ambiental #23448), por REDESClim y el IAI (proyecto CRA 2048). Las figuras 2.2 y 2.4 fueron proporcionadas por el Dr. Stephen V. Smith. Agradecemos a T. Cavazos así como a tres revisores externos (Graciela Raga, Norma Labrada y Cecilia Conde) por sus comentarios y sugerencia para mejorar el contenido del capítulo.

Cómo citar este capítulo:

Farfán, L. M., R. Prieto, J. N. Martínez-Sánchez y R. Padilla, 2015: Capítulo 2: Ciclones tropicales y su influencia en México. En T.Cavazos (Ed.), Conviviendo con la Naturaleza: El problema de los desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos en México. REDESClim, México, Ediciones ILCSA, pp 47-76.

REFERENCIAS

Allard, R. A., 1984: A climatology of the characteristics of tropical cyclones in the northeast Pacific during the period 1966-1980. M.S. Thesis, Department of Geosciences, Texas Tech University. Lubbock, Texas, 106 pp.

Amador, J. A., E. J. Alfaro, E. J., O. G. Lizano, and V.O. Magaña, 2006: Atmospheric Forcing of the Eastern Tropical Pacific. *Progress in Oceanography*, **69**, 101-142.

Avila, L. A., and R. J. Pasch, 1992: Atlantic tropical systems of 1991. *Mon. Wea. Rev*. **120**, 2688-2696.

Bankoff, G., G. Frerks y D. Hilhorst (eds.), 2004: Mapping vulnerability. Disasters, development & people. Earthscan, 236 pp.

Bell, G. D., and M. Chelliah, 2006: Leading tropical modes associated with interannual and multidecadal fluctuations in North Atlantic hurricane activity. *J. Climate*, **19**, 590–612.

Bove M. K., J. B. Elsner, C. W. Landsea, X. Niu, and J. J. O'Brien 1998: Effect of El Niño on U.S. landfalling hurricanes, revisited. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **79**, 2477-2482.

Broad, K., A. Leiserowitz, J. Weinkle, and M. Steketee, 2007: Misinterpretations of the "cone of uncertainty" in Florida during the 2004 hurricane season. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **88**, 651–667.

Beven, J. L., and Coauthors, 2008: Atlantic Hurricane Season of 2005. *Mon. Wea. Rev.,* **136**, 1109–1173.

Camargo, S. J., A. G. Branston, P. J. Klotzbach, and C. W. Landsea, 2007: Seasonal tropical cyclone forecasts. *WMO Bulletin,* **56**(4), 297-309.

Camargo S. J., A. H. Sobel, A. G. Barnston, and P. J. Klotzbach, 2010: The influence of natural climate variability, and seasonal forecasts of tropical cyclone activity, Chapter 11, pp. 325-360, in Global Perspectives on Tropical Cyclones, from Science to Mitigation, 2nd edition, World Scientific Series on Earth System Science in Asia. Vol. 4, J.C.L. Chan and J.D. Kepert, Eds., ISBN 978-981-4293-47-1.

Chu, P.-S., 2004: ENSO and tropical cyclone activity. In Hurricanes and Typhoons. Past, present, and future. Columbia University Press. R.J. Murnane and K-B Liu, Eds., ISBN 0-231-12388-4.

Collins, J. M, and I. M. Mason, 2000: Local environmental conditions related to seasonal tropical cyclone activity in the Northeast Pacific basin. *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 3881–3884.

Corbosiero, K. L., M. J. Dickinson, and L. F. Bosart, 2009: The contribution of eastern North Pacific tropical cyclones to the rainfall climatology of the southwest United States. *Mon. Wea. Rev.,* **137**, 2415–2435.

Elsner J.B., J.P. Kossin, and T. H. Hagger, 2008: The increasing intensity of the strongest tropical cyclones. Nature, 455, doi:10.1038/nature07234.

Farfán, L. M., R. Romero, and G. B. Raga, 2012: Observations and forecasts from the landfall of tropical cyclones John, Lane, and Paul (2006) over northwestern Mexico. *Wea. Forecasting,* **27**, 1373-1393.

Farfán, L. M., E. Alfaro, and T. Cavazos, 2013. Characteristics of tropical cyclones making landfall on the Pacific coast of Mexico: 1970-2010. *Atmósfera,* **26**, 163-182.

Farfán, L. M., G. B. Raga, and F. Oropeza, 2010: Training on tropical cyclones and their passage across the border. Border Climate Summary, The University of Arizona, 12 pp. [Available online at *http://www.climas.arizona.edu/file/climas/pdfs/periodicals/BorderClimateSummary_Jun10. pdf.*]

Fuentes-Franco R., E. Coppola, G. T. Diro, F. Giorgi, F. Graef, and E. G. Pavia, 2014: Changes in interannual variability of precipitation and temperatura over México and Central America from RegCM4 projections. *Clim. Dyn.,* **42**, 629-647.

Gray, W. M., 1984: Atlantic Seasonal Hurricane Frequency. Part I: El Niño and 30 mb Quasi-Biennial Oscillation Influences. *Mon. Wea. Rev.,* **112**, 1649–1668.

Goldenberg S. B., C. W. Landsea, A. M. Mestas-Nuñez, and W. M. Gray, 2001: The recent increase in Atlantic hurricane activity: Causes and implications. *Science,* **293**, 474–479.

Gutzler, D. S., K. M. Wood, E. A. Ritchie, A. V. Douglas, and M. D. Lewis, 2013: Interannual variability of tropical cyclone activity along the Pacific coast of North America. *Atmósfera,* **26**, 149-162.

Jáuregui, E., 2003: Climatology of landfalling hurricanes and tropical storms in Mexico. *Atmósfera,* **16**, 193–204.

Kimberlain, T. B. 1999: The effects of ENSO on North Pacific and North Atlantic tropical cyclone activity. *Preprints 23rd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology*, Dallas, TX. Amer. Meteor. Soc.

Landsea C. W., G. D. Bell, W. M. Gray, and S. B. Goldenberg, 1998: The extremely active 1995 Atlantic hurricane season: Environmental conditions and verification of seasonal forecasts. *Mon. Wea. Rev.,* **126**, 1174–1193.

Larson J., Z. Yaping, and R.W. Higgins, 2005: Characteristics of landfalling tropical cyclones in the United States and Mexico: Climatology and interannual variability. *J. Climate,* **18**, 1247–1262.

Lupo, A. R., T. K. Latham, T. H., Magill, J. V. Clark, C. J. Melick, and P. S. Market, 2008: The interannual variability of hurricane activity in the Atlantic and east Pacific regions. *AN. Wea. Dig.,* **32**, 11–33.

Martínez-Sánchez, J. N., and T. Cavazos, 2014: Eastern tropical Pacific hurricane variability and landfalls on Mexican coasts. *Climate Research,* **58**, 221-234, doi: 10.3354/cr01192.

Maue R. N., 2009: Northern Hemisphere tropical cyclone activity. *Geophys. Res. Lett.* **36**, L05805, doi:10.1029/2008GL035946 537.

Maue R. N., 2011: Recent historically low global tropical cyclone activity. *Geophys.Res. Lett.,* **38**, L1803, doi:10.1029/2011GL047711.

McBride, J. L., 1995: Tropical cyclone formation. Global perspectives on tropical cyclones, R. L. Elsberry, Ed.,World Meteorological Organization, 106–197.

Molinari, J., D. Knight, M. Dickinson, D. Vollaro, and S. Skubis, 1997: Potential vorticity, easterly waves, and tropical cyclogenesis. *Mon. Wea. Rev.,* **125**, 2699-2708.

Negri, A. J., and Coauthors, 2005: The Hurricane–Flood–Landslide Continuum. Bull. Amer. Meteor. Soc., **86**, 1241–1247.

Pielke, Jr., R. A., and C. W. Landsea, 1999: La Niña and El Niño and Atlantic Hurricane Damages in the United States. *Bull. Amer. Meteor. Soc.,* **80**, 2027-2033.

Ralph, T. U., and W. A. Gough 2009: The influence of sea-surface temperatures on Eastern North 549 Pacific tropical cyclone activity. *Theor. Appl. Climatol.*, **95**, 257–264.

Ritchie, E. A., K. M. Wood, D. S. Gutzler, and S. R. White, 2011: The influence of eastern Pacific tropical cyclone remnants on the southwestern United States. *Mon. Wea. Rev.,* **139**, 192–210.

Romero-Vadillo, E., O. Zaytsev, and R. Morales-Pérez, 2007: Tropical cyclone statistics in the northeastern Pacific. *Atmósfera,* **20**, 197–213.

Rosengaus, M., 1998: Efectos destructivos de ciclones tropicales. MAPFRE, 251 pp.

Rosengaus, M., M. Jiménez y M. T. Vázquez, 2002: Atlas climatológico de ciclones tropicales en México. Centro Nacional de Prevención de Desastres, ISBN 970–628–633–0, 106 pp.

Smith T. M., R. W. Reynolds, T. C. Peterson, and J. Lawrimore, 2008: Improvements to NOAA's Historical Merged Land-Ocean Surface Temperature Analysis (1880-2006). *Jourla of Climate,* **21**, 2283–2296.

Sheffield J., S. J. Camargo, R. Fu, Q. Hu, X. Jiang, N. Johnson, K.B. Karnauskas, J. Kinter, S. Kumar, and B. Langenbrunner, 2013: North American climate in CMIP5 Experiments, Part II: Evaluation of 20th century intra-seasonal to decadal variability. *Journal of Climate,* **26(23)**, 9247-9290.

Simpson, R., 2003: Communicating damage potentials and minimizing hurricane damage. *Hurricane! Coping with disaster, R. Simpson, ed. Amer. Geophys. Union Publications.* 249-891.

Trenberth K. E. and D. J. Shea 2006: Atlantic hurricanes and natural variability in 2005. *Geophys. Res. Lett.,* **33**, L12704, doi:10.1029/2006GL026894.

Vincent, D. G., and A. H. Fink, 2001: Tropical cyclone environments over the northeastern and northwestern Pacific based on ERA-15 analyses. *Mon. Wea. Rev.,* **129**, 1928–948

Wang, C., and D. B. Enfield, 2001: The tropical western hemisphere warm pool. *Geophys. Res. Lett.,* **28**, 1635–1638.

Wang C. and S.–K. Lee 2009: Co-variability of tropical cyclones in the North Atlantic and eastern North Pacific. *Geophys. Res. Lett.,* **36**, L24702, doi:10.1029/2009GL041469.

Wang, C.-C., and G. Magnusdottir. 2006: The ITCZ in the central and eastern Pacific on synoptic time scales. *Mon. Wea. Rev.,* **134**, 1405–1421.

Webster P. J., G. J. Holland, J. A. Curry, and H.-R. Chang, 2005: Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science,* **309**, 1844–1846.

CAPÍTULO 3

INUNDACIONES, HELADAS E INCENDIOS FORESTALES

LUIS BRITO CASTILLO[1] Y ADRIÁN PEDROZO ACUÑA[2]

[1] Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC, Unidad Sonora, campus Guaymas

[2] Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ingeniería.

RESUMEN

Las inundaciones (ocasionadas por lluvias intensas producidas por ciclones tropicales, paso de frentes fríos, tormentas convectivas, tsunamis y oleaje de tormentas) han sido de los eventos más destructivos en México y se posicionan en el segundo lugar de los desastres asociados a fenómenos naturales que causan el mayor número de muertes en el país. Se estima que una tercera parte de todas las declaratorias de desastre realizadas en México entre 1980-1999 estuvieron relacionadas con las inundaciones. Entre 2000 y 2010, más del 80% de las pérdidas económicas por desastres asociados a fenómenos naturales en México fueron causadas por lluvias torrenciales de invierno y verano posicionando, hasta entonces, al 2010 como el año más costoso en la historia del país con una cifra récord de 92,372.4 millones de pesos en pérdidas (unos 7,463 millones de dólares americanos). En contraste con las excesivas inundaciones en el sureste del país en el 2010, la sequía del 2011-2012 en los estados del norte fue catalogada como excepcional incrementando las posibilidades de ocurrencia de incendios forestales en el país. En la actualidad se utilizan equipos modernos y sofisticados para controlarlos, pero la batalla está lejos de ser ganada, principalmente debido a la incertidumbre en la variabilidad del clima y de los pronósticos meteorológicos y el desconocimiento del papel que juegan los incendios en el funcionamiento de los ecosistemas.

En cuanto a las heladas, aunque el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) muestra que en varias regiones del planeta se ha observado un incremento del periodo libre de heladas, éstas siguen causando estragos en México, principalmente en la agricultura debido a la alta variabilidad climática interanual y al posible aumento de eventos extremos debido al calentamiento global.

Por ejemplo, según datos del CENAPRED las heladas de febrero de 2011 afectaron a 11 municipios de Sinaloa; 39 de Durango, 72 de Sonora, 15 de Chihuahua y 38 de Coahuila. Se estima que estos eventos, junto con la sequía del 2011-2012 que afectó a 23 de las 32 entidades federativas y la cual fue diagnosticada como la más prolongada que ha vivido México en los pasados 70 años, causaron afectaciones en poco más de siete millones de hectáreas de cultivos.

En este capítulo abordamos el estado actual del conocimiento sobre las causas de las inundaciones, los incendios forestales y las heladas en México; describimos algunos métodos de prevención modernos y señalamos algunas dificultades que enfrentan los hidrólogos y meteorólogos al intentar pronosticar sus ocurrencias. Esperamos que esta información científica y las estadísticas que se muestran hasta el 2012 sean de utilidad para los tomadores de decisión en el control, prevención, adaptación y mitigación de estos desastres.

Chapter 3

Floods, frosts, and forest fires

ABSTRACT

Among the most frequent natural-related disasters that disrupt human and economic activities, floods (caused by heavy rainfall produced by tropical cyclones, cold fronts, convective storms, tsunamis, and storm surges) have been the most devastating in Mexico and rank second in the loss of life and property damage. An estimate of one third of all disaster declarations made in Mexico over the period 1980-1999 was related to floods. During the 2000-2010 period, more than 80% of all economic losses caused by natural-related disasters were produced by winter and summer heavy rainfalls situating, until then, the 2010 as the worst year in Mexico's history imprinting a record cost of $7,463 million (USD). In contrast to the excessive floods observed in the southeast of the country in 2010, the northern Mexican States were affected by the 2011-2012 droughts, which have been classified as very uncommon, increasing the possibilities of occurrences of forest fires. At present, modern equipment is used to control the fires but the battle is far from been gained, mainly because of the uncertainty related to climate variability and weather forecasts, and the lack of knowledge about fire's fundamental role in ecosystem functioning.

Although the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has shown an increase in the length of the frost-free season in many regions of the world, frosts continue to produce severe damages in Mexico, mainly in the agricultural sector; this is due to high inter-annual climate variability and increase of extreme events due to global warming. For instance, the frosts of February 2011 affected 11 municipalities of Sinaloa, 39 of Durango, 72 of Sonora, 15 of Chihuahua, and 38 of Coahuila. The estimates show that these events, in combination with the droughts of 2011-2012 that affected 23 of the 32 Mexican States, produced damages in more than seven million hectares of cultivated areas.

In this chapter we discuss the state-of-the art knowledge about the causes of floods, forest fires, and frosts in Mexico. We describe modern methods to prevent and reduce the negative impacts of these disasters, and the difficulties encountered by hydrologists and meteorologists in the quest to forecast their occurrences. We hope this scientific information and the statistics presented up to 2012 will be useful to stakeholders in controlling, preventing and mitigating this type of disasters.

3.1. INTRODUCCIÓN

Las Naciones Unidas han señalado como peligros naturales a los terremotos, las tormentas de viento, tsunamis, inundaciones, deslaves, erupciones volcánicas, incendios forestales, plagas de langostas, las sequías y la desertización (*Board on Natural Disasters* 1999, Smith 1989). En este capítulo nos ocuparemos de las inundaciones, los incendios forestales y las heladas. Estos tres fenómenos en su conjunto han llegado a representar hasta el 98% de todos los costos asociados a desastres relacionados con fenómenos naturales en México (Tabla 3.1), pre-dominando siempre el de las inundaciones, como sucedió en 2005 cuando ocho huracanes impactaron directa o indirectamente a México: *Bret* (28-29 Jun), *Cindy* (03-06 Jul), *Dora* (03-06 Jul), *Emily* (10-21 Jul), *Gert* (23-25 Jul), *José* (22-23 Ago), *Stan* (01-05 Oct) y *Wilma* (15-25 Oct) (CENAPRED 2006).

Los peligros asociados a las inundaciones (ocasionadas por lluvias intensas producidas por huracanes, tormentas convectivas, tsunamis y oleaje de tormentas) han sido de los más destructivos en el mundo y se posicionan en el segundo lugar de los desastres asociados a fenómenos naturales que causan el mayor número de muertes (Droegemeier et al. 2000). Se estima, por ejemplo, que una tercera parte de todas las declaratorias de desastre realizadas en México entre 1980-1999 estuvieron relacionadas con las inundaciones (Bitrán Bitrán 2001). En la última década, el 80% de las pérdidas económicas por desastres en México fueron causadas por las lluvias torrenciales (Tabla 3.1) posicionando al 2010 como el año más costoso en la historia de México con una cifra récord de 92,372.4 millones de pesos en pérdidas (unos 7,463 millones de dólares americanos). Las fuertes lluvias de febrero de 2010 provocaron inundaciones en los estados de Michoacán, México y Distrito Federal; el 30 de junio del mismo año el huracán *Alex* tocó tierra con categoría 2 en Soto la Marina, Tamaulipas y en los primeros días de julio afectó a los estados de Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila. Entre julio y septiembre hubo inundaciones y deslaves en Oaxaca, Chiapas y Veracruz. De agosto a noviembre de 2010 el estado de Tabasco volvió a inundarse por cuarta ocasión consecutiva en la década.

Esta información otorga un mensaje claro de las necesidades que enfrenta el país todos los años por asegurar la protección y prevención de la población ante la ocurrencia de desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos. Las cifras de pérdidas humanas y materiales van en aumento por tres causas principales: (1) el incremento de la población, (2) el valor de la propiedad y (3) la concentración de asentamientos en zonas propensas al peligro (Michel-Kerjan 2011). Se ha estimado que a nivel mundial el costo total anual promedio de los desastres asociados a fenómenos naturales se quintuplicó entre décadas pasando de $8,900 millones de dólares entre 1977-1986, a $45,100 millones entre 1997-2006 (Bouwer et al. 2007). Para el

2015 se espera que ciudades como Tokyo, Sanghai y Jakarta incrementen sus pérdidas por desastres en 22% y 88%, respectivamente. Se estima que en México el incremento por pérdidas debidas a los desastres naturales pasará de un estimado de 315,000 millones de dólares (MDD) a precios del 2005, a 489,000 MDD (Bouwer et al. 2007, material adicional en línea).

En 1994, se celebró en Yokohama Japón la conferencia mundial sobre desastres naturales, y se declaró la década de los 1990's, como la década internacional para la reducción de los desastres. En esa década, se registraron los siguientes desastres de importancia en México: los huracanes *Ismael* y *Opal* (1995), el huracán *Paulina* (1997), incendios forestales en todo el país (1998); lluvias torrenciales en Tijuana y Chiapas (1998) e inundaciones en Veracruz, Puebla, Hidalgo y Chiapas (1999) que en conjunto causaron daños estimados en poco menos de 3 100 millones de dólares (Bitrán Bitrán 2001). Durante esa década, la gestión de los desastres naturales pasó del enfoque tradicional sobre la respuesta y recuperación hacia el énfasis en la prevención y la mitigación (*Board on Natural Disasters* 1999). Se ha estimado que el costo-beneficio de la razón entre la reducción por el riesgo de los desastres varía de 1:2 a 1:4, pero los esfuerzos no han recibido el financiamiento que requieren (Bouwer et al. 2007). Particularmente porque las compañías de seguros se rehúsan a cubrir estos peligros debido a su incapacidad para evaluar adecuadamente el riesgo (Bouwer et al. 2007, Michel-Kerjan 2011), razón por la cual la población y los gobiernos tienen que recurrir a la ayuda federal. En México, esta ayuda se otorga a través del Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) creado en 1996 o del Programa para Atender Contingencias Climatológicas (PACC), y a través del Fondo Nacional para la Prevención de Desastres (FOPREDEN).

Los objetivos del FONDEN son atender los efectos de los desastres naturales cuya magnitud supere la capacidad financiera de respuesta de las dependencias y entidades paraestatales, así como de las entidades federativas (SEGOB, 2012).

Entre 2000 y 2012 se han emitido un total de 16,111 declaratorias, de las cuales 15,344 corresponden a fenómenos hidrometeorológicos, 543 geológicos, 184 químicos y 40 sanitarios (Tabla 3.2). De entre los fenómenos hidrometeorológicos destacan las emergencias por ciclones tropicales (2,488) y los desastres por lluvias intensas (2,339), ambos fenómenos potenciales promotores de inundaciones extraordinarias. En cuanto al número de declaratorias emitidas por heladas e incendios forestales, éstas han sido modestas en comparación con los otros fenómenos (CENAPRED 2012). En los datos reportados hasta la fecha se muestra un intento por clasificarlos. En el caso de las heladas, éstas se agrupan en las declaratorias que se incluyen junto a nevadas, granizadas y bajas temperaturas, pero considerando solo aquellas declaratorias tipificadas como causadas exclusivamente por "heladas y bajas temperaturas" suman un total de 400. Los incendios forestales se incluyen en el tipo de fenómenos químicos (Tabla 3.2) y el número de declaratorias es de 184.

A continuación abordamos el estado actual del conocimiento sobre las causas de las inundaciones, los incendios forestales y las heladas en México; describimos algunos métodos de prevención modernos para prevenirlos y señalamos algunas dificultades que enfrentan los hidrólogos y meteorólogos al intentar pronosticar sus ocurrencias.

Tabla 3.1. Costos ocasionados por las inundaciones, los incendios forestales y las heladas en México entre 2002 y 2010 (millones de pesos). La 6a columna incluye los costos asociados a todo tipo de fenómenos naturales que pudieron documentarse, es decir, hidrometeorológicos, geológicos, químicos, sanitarios y otros; % es la contribución de costos asociados solo a inundaciones, incendios forestales y heladas, respecto del total.

AÑO	INUNDACIONES	INCENDIOS FORESTALES	HELADAS	SUMA	TOTAL X DESASTRES OCURRIDOS EN MÉXICO	%	FUENTE
2002	10 457.1	129.1	40.3	10 626.5	11 226.0	94.7	Bitrán Bitrán et al. (2003)
2003	3 263.1	1 002.8	0.0	4 265.9	6 972.1	61.2	CENAPRED (2004)
2004	438.0	62.6	128.0	628.6	837.3	75.1	Bitrán Bitrán et al. (2005)
2005	44 280.7	276.1	0.0	44 556.8	45 426.0	98.1	CENAPRED (2006)
2006	4 110.1	243.7	65.0	4 418.8	4 714.0	93.7	CENAPRED (2007)
2007	49 167.8	141.8	16.1	49 325.7	50 644.0	97.4	García, (2009 a)
2008	13 580.9	231.1	99.2	13 911.3	14 290.0	97.3	García, (2009 b)
2009	10 933.3	287.6	10.9	11 231.8	14 587.5	77.0	CENAPRED (2010)
2010	79 016.9	114.7	647.2	79 778.8	92 372.4	86.4	García, (2012)

Tabla 3.2. Número de declaratorias emitidas por desastres en México durante el periodo 2000-2012 (Fuente: CENAPRED 2012).

CLASIFICACIÓN DEL FENÓMENO	TIPO DE DECLARATORIA	TIPO DE FENÓMENO	DENSIDAD
HIDROMETEOROLÓGICOS	CONTINGENCIA CLIMATOLÓGICA	Sequía	2 341
		Nevada, helada o granizada	644
		Lluvias	587
		Inundaciones	135
		Ciclón tropical	76
		Fuertes vientos	4
		SUMA	**3 787**
	DESASTRE	Sequía	1 104
		Nevada, helada o granizada	68
		Lluvias	2 339
		Inundaciones	311
		Ciclón tropical	1 732
		Fuertes vientos	33
		Tornado	1
		SUMA	**5 588**
	EMERGENCIA	Sequía	19
		Nevada, helada o granizada	739
		Lluvias	1 664
		Inundaciones	271
		Ciclón tropical	2 488
		Fuertes vientos	83
		Bajas Temperaturas	705
		SUMA	**5 969**
	TOTAL FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS		**15 344**
GEOLÓGICOS	DESASTRES	Sismos	235
		Deslaves	144
		SUMA	**379**
	EMERGENCIA	Sismos	99
		Deslaves	65
		SUMA	**164**
	TOTAL FENÓMENOS GEOLÓGICOS		**543**
QUÍMICOS	Desastre	Incendios forestales	77
	Emergencia	Incendios forestales	107
	TOTAL FENÓMENOS QUÍMICOS		**184**
SANITARIOS	Emergencia	Marea roja	**40**
TOTAL DE DECLARATORIAS EMITIDAS			**16 111**

3.2. INUNDACIONES

Las inundaciones representan el fenómeno natural que genera el mayor número de devastaciones y pérdidas económicas a nivel mundial (EM-DAT 2011). De acuerdo al Centro de Investigación en Epidemiología de Desastres (CRED, por sus siglas en inglés), tan sólo en 2012 las inundaciones afectaron 178 millones de personas, lo que las cataloga como los eventos extremos más frecuentes.

En consecuencia, la correcta determinación del riesgo asociado a inundaciones representa una de las prioridades para gran parte de la comunidad científica internacional (p. ej. DEFRA 2005 en el Reino Unido, IMEE 2011 en Estados Unidos), la cual ha concentrando sus esfuerzos hacia la reducción de los daños derivados por la incidencia de estos fenómenos (p. ej. Ashley et al. 2006, Dutta et al. 2003). Eventos severos registrados en los ríos Rhin en Alemania (2006), Mississippi en Estados Unidos (2005), Danubio en Europa Central (2006), Valency y Jordan en Inglaterra (2004), Santa Catarina en Monterrey, Nuevo León (2010) y Usumacinta (2011) en Tabasco, México, son sólo algunos de los ejemplos más drásticos asociados a esta problemática.

Por su ubicación y naturaleza geográfica, nuestro país favorece la presencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos, como son los 26 huracanes que en promedio se producen de forma anual y que afectan las zonas costeras por ambos litorales. Así mismo, asociados a estos fenómenos, también se presentan lluvias torrenciales e intensas precipitaciones, que a su vez generan inundaciones fluviales, costeras y deslaves de tierra. La Fig. 3.1 presenta algunos de los eventos recientes en donde se han presentado inundaciones severas, ocurridas en los Estados de Tabasco (1999, 2007, 2008, 2009, 2011), Quintana Roo (2008), Veracruz y Nuevo León (2010) y Tamaulipas (2011).

En los últimos años, el estado de Tabasco es la entidad federativa que más ha sufrido inundaciones severas. Durante estos eventos, la sociedad (gran cantidad de damnificados), el sector productivo (ganadería y agricultura) y la infraestructura (vías de comunicación) se han visto gravemente afectados. Sólo durante el evento de octubre-noviembre de 2007, más de un millón de personas resultaron damnificadas y las pérdidas económicas del estado se estimaron en más de los 3 mil millones de dólares, ubicándolo como el segundo mayor desastre nacional en los últimos 50 años (CENAPRED 2008), pero superado por varios eventos del 2010 (Tabla 1.1del Capítulo 1).

Resulta evidente que en situaciones de esta naturaleza, las autoridades estatales y federales (p. ej. CONAGUA, Protección Civil, SEDENA, SEGOB) necesitan tomar decisiones concernientes al manejo del desastre y las estrategias que se utilizarán para la

Figura 3.1. Eventos de inundación con declaratoria de emergencia y recursos asignados del Fondo de Desastres Naturales (Fuente: FONDEN MDP).

evacuación de la población. Sin embargo, con el propósito de evaluar el daño potencial y planificar una eficiente asignación de recursos para activar las acciones de emergencia y rescate, se necesita información sobre los patrones de inundación, incluyendo elevaciones del agua, velocidades de flujo y el tiempo en el que se genera la inundación. Dicha problemática exige un planteamiento de soluciones integrales a la gestión de los riesgos asociados a estos fenómenos extremos.

La metodología abocada a evitar daños y pérdidas por la incidencia de inundaciones ha sufrido una evolución significativa. La nueva estrategia para el manejo del riesgo generado por estos eventos extremos, recae no solamente en la construcción de obras de defensa como bordos, compuertas de derivación y dragado de los ríos; sino también en la incorporación de otras medidas de mitigación, que permiten reducir la severidad de los daños asociados a estos fenómenos (p. ej. cambios en el uso de suelo por medio de un ordenamiento territorial). Lo anterior ha generado un cambio en el paradigma de estrategias para hacer frente a estos fenómenos, evolucionando de una perspectiva de control y defensa contra inundaciones, hacia una de manejo y mitigación de daños (DEFRA 2005). Esta nueva visión, se apoya en las bases que dan pie al desarrollo sostenible, enfocándose tanto en la reducción de las consecuencias nocivas de las inundaciones (p. ej. morbilidad de la población, las pérdidas económicas y ecológicas), como en el aprovechamiento de los beneficios sociales, económicos y ecológicos que éstas producen (ver UNESCO-IFI: *International Flood Initiative* – Baldassarre y Unlenbrook 2011).

La historia demuestra que la generación y aplicación de técnicas de análisis de riesgo, han sido motivadas por las consecuencias catastróficas de diferentes eventos. A raíz de la ocurrencia de accidentes la sociedad a menudo exige nuevos y mejores sistemas de defensa, así como una regulación estricta del riesgo (Reeve 2011). En estas actividades es natural la relevancia de la ingeniería y el conocimiento científico para la generación de mejores técnicas para la caracterización y manejo de los peligros, lo que

contribuye a la generación de un enfoque más preventivo que reactivo ante los desastres, sin importar su naturaleza.

La seguridad es una necesidad básica para el desarrollo social y económico de cualquier país. Condiciones que no son lo suficientemente seguras, requieren inversiones repetidas y extremadamente altas en reparación e indemnización de daños (p. ej. inundación de Tabasco en 2007). Por lo tanto, al distraer recursos para dar frente a una contingencia de esta naturaleza, se limitan las posibilidades de desarrollo social y económico de un país.

La severidad de una inundación frecuentemente resulta de una combinación de factores; por ejemplo, en sistemas ribereños complejos, el tiempo de respuesta entre la máxima precipitación, las condiciones de humedad de la cuenca y el volumen de escurrimiento en el río determinan la magnitud del gasto pico de la avenida. La dificultad para estimar la ocurrencia de las inundaciones radica en que hay un número limitado de eventos en el pasado reciente y éstas son difíciles de predecir. Por lo tanto, hay una carencia de datos cuantitativos para la caracterización de eventos extremos, por lo que la calibración y validación de los modelos resulta complicada y está limitada. Adicionalmente, la variabilidad en las escalas espacio-temporales de los procesos hidrológicos, aunada a la falta de conocimiento de estos procesos complica su correcta caracterización y estudio (Beven 2006, Reeve et al. 2010).

En este sentido, investigaciones futuras deberán enfocar sus esfuerzos hacia el mejoramiento de la estimación y la predicción del riesgo de inundación, a través de la reducción de la incertidumbre (Demeritt et al. 2007, Bao et al. 2011). Un ejemplo de lo anterior, está dado por Pedrozo-Acuña et al. (2013) quienes a través de un análisis de sensibilidad de un modelo hidrológico determinaron un conjunto de posibles respuestas de la cuenca del río Pánuco en México.

Las inundaciones representan una amenaza al desarrollo económico y vida de la población, la atención a este problema requiere considerar a la cuenca como una unidad hidrológica de estudio, en la que la investigación de diversos aspectos particulares, contribuya al análisis completo, la optimización, planeación y manejo de la misma.

3.2.1. ESTADO DEL ARTE SOBRE INUNDACIONES

Entre los primeros trabajos hidrológicos abocados al estudio a nivel de cuenca de este tipo de desastres, se encuentra el proyecto RAPHAEL (*Runoff and Atmospheric Processes for flood HAzard for Ecasting and controL*), realizado con el apoyo financiero de la Unión Europea en 1993. Este proyecto tuvo como objetivo la investigación de los procesos atmosféricos y de escorrentía para la predicción de inundaciones en la región de los Alpes (Jasper et al. 2002). Posteriormente, en el año 1999, se inició el proyecto MAP D-FASE (*Mesoscale Alpine Programme, Demonstration of Probabilistic Hydrological and Atmospheric Simulation of flood Events in the Alps*) con duración de diez años, que incorpora un enfoque probabilístico, atmosférico e hidrológico, para la predicción de avenidas asociadas a eventos climáticos extremos en la misma zona (MAP 2009).

Por otro lado, el estudio de la propagación de la incertidumbre en sistemas avanzados hidrometeorológicos, fue abordado durante el proyecto COST 731 (*Concerted Research Action*) desde una perspectiva de estimación de las precipitaciones extremas y sus procesos hidrológicos asociados, considerando la propagación del error en distintas etapas de modelación y su influencia en la toma de decisiones (Davolio et al. 2008).

Posteriormente, se incorporaron las predicciones numéricas del clima NWP (*Numerical Weather Prediction*, por sus siglas en inglés), las cuales involucran la utilización de observaciones meteorológicas en modelos numéricos atmosféricos para determinar la evolución del estado del clima en el futuro. Los resultados así obtenidos sirven para definir hidrogramas asociados a un evento dado. El uso de técnicas de predicción basadas en ensambles EPS (*Ensemble Prediction Systems*, por sus siglas en inglés) permite generar n escenarios (o causas) asociados a una condición climática, los cuales a su vez se usan para obtener n posibles hidrogramas (o consecuencias). Con este procedimiento se determina la incertidumbre asociada al proceso de predicción de eventos extremos y sus posibles consecuencias. El uso de este tipo de modelos se recomienda especialmente cuando los datos de caudal de los ríos aguas arriba no están disponibles, porque no existen sistemas de medición, o cuando los equipos o la transmisión de datos no funcionan, lo que suele ser muy común en al caso de avenidas extremas (Cloke y Pappenberger 2009).

En años recientes, la Unión Europea ha financiado diversos proyectos a través de sus programas Marco FP5, FP6 y FP7, creando los proyectos FLOODRELIEF, el Consorcio para la Investigación sobre el Manejo de Inundaciones y FLOODSITES, abocados todos a la reducción y manejo del riesgo de inundaciones por eventos extremos dentro de la Comunidad Europea.

En México, este tipo de estudios se han motivado en virtud de la reincidencia de eventos de inundación como es el caso del estado de Tabasco, en donde el gobierno federal ha buscado la generación de alternativas que disminuyan el riesgo de la población a través de la creación de programas de control de inundaciones. Los últimos esquemas que se han propuesto, corresponden al Programa Integral de Inundaciones (PICI), que fue desechado después del evento de 2007 dado que faltaban estructuras por construir (avance del 70%), además de que los periodos de retorno utilizados para el diseño de las estructuras de protección habían sido ampliamente superados. En nuestro país, la mayor parte de los esfuerzos, incluido el PICI, se reducen a la construcción de infraestructura hidráulica de control de avenidas, sin considerar medidas adicionales para el manejo de desastres por inundaciones, como pueden ser el ordenamiento territorial y un programa de investigación aplicada para expandir el conocimiento necesario para hacer frente a este problema.

Posteriormente, se ha generado el Plan Hídrico Integral de Tabasco (PHIT), que tiene el propósito de generar un conjunto de soluciones que garanticen la seguridad de la población, el desempeño de las actividades económicas y el equilibrio en los ecosistemas ante la incidencia de eventos meteorológicos extremos. De tal suerte que se reduzcan las condiciones de riesgo y vulnerabilidad que percibe con frecuencia la población tabasqueña ante los efectos de dichos eventos.

En este estudio, se promueve por primera vez en México, el reordenamiento ecológico y territorial evitando que continúen los asentamientos humanos en zonas de alto riesgo. La visión del PHIT es integral dado que estudia a un nivel de cuenca, todas las variables involucradas en la generación de eventos extremos (p. ej. precipitaciones de gran intensidad y su interacción con grandes caudales en los ríos). Esta visión se lleva a cabo mediante el planteamiento de estrategias a corto, mediano y largo plazos. Las acciones a corto plazo se incluyen en el Plan de Acciones Urgentes (PAU), el cual se creó con la finalidad de llevar a cabo medidas urgentes en el periodo en el que estaban sucediendo las lluvias en el 2007.

En contraparte, a nivel nacional aún falta mucho camino por recorrer respecto a la generación de programas de investigación abocados al estudio de este tipo de fenómenos. Sin embargo, el esfuerzo de la creación de la Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos en México (REDESClim), por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) representa una excelente iniciativa para comenzar con esta labor, pues es un foro idóneo para el intercambio de conocimiento y la formulación de posibles vías de solución y mitigación de los riesgos potenciales en nuestro país.

3.2.2. ¿ES POSIBLE PREDECIR UNA INUNDACIÓN?

En la actualidad, los modelos existentes no siempre pronostican correctamente la ocurrencia de este fenómeno. Existen dos métodos para determinar la inundación de un área dada que se basan en técnicas estadísticas con datos observados disponibles o simulaciones matemáticas por medio de computadoras. En este sentido la respuesta a esta pregunta es positiva, ya que sí podemos prevenir o predecir inundaciones, pero el punto clave de la discusión a nivel mundial consiste en determinar qué tan confiables son estos pronósticos.

Los métodos estadísticos determinan la probabilidad de que una inundación de cierta magnitud ocurra en algún lugar; su implementación requiere observaciones de lluvia (algunas veces a escala horaria) y niveles en los ríos de muchos años. La simulación numérica de flujos de inundación consiste en la idealización matemática del flujo en los ríos y terreno aledaño. En este tipo de aproximaciones se simula el agua que fluye por un río dado y, para ello, es necesario conocer las características de la zona (p. ej. elevación del terreno, humedad del suelo) y el régimen de lluvia de la región.

En general, la comunidad científica internacional ha identificado los mapas de inundación como los instrumentos indispensables para el manejo de los riesgos asociados a estos eventos. Los mapas ubican geográficamente la extensión de la mancha de inundación en una región dada asociada a una probabilidad de ocurrencia específica.

Una fuente de información que cobra mayor relevancia en la predicción de inundaciones, consiste en el uso de modelos numéricos hidrodinámicos para la generación de mapas de inundación. Éstos son importantes porque permiten planear decisiones, sistemas de alerta, evaluar daños y diseñar defensas. Sin embargo, los modelos que los

generan están sujetos a incertidumbres de naturaleza epistemológica (limitaciones del conocimiento), además de las asociadas a los datos de entrada, los errores de los datos geográficos y la falta de datos para su calibración (p. ej. Rauch et al. 2002, Pappenberger y Beven 2006; Korving et al. 2009).

Por otra parte, los mapas de inundación que se generan en México para estimar riesgos asociados a estos eventos consideran una predicción determinista de los mismos. Es decir, caracterizan una causa y se genera una consecuencia. Sin embargo, esta metodología carece de una robustez teórica que informe sobre las limitaciones de los modelos utilizados (p. ej. modelos unidimensionales, caracterización de la rugosidad en la llanura), y no proporciona información sobre el grado de confiabilidad de los pronósticos.

Los estudios que contemplan la utilización de modelación numérica de flujos de inundación sobre llanuras y zonas urbanas, generalmente están abocados a reproducir eventos observados para su calibración y validación. El uso de este tipo de herramientas ha sido aplicado con éxito en los estudios de inundación durante las Segunda, Tercera y Cuarta Fase del Plan Hídrico Integral de Tabasco (Pedrozo-Acuña et al. 2012a y 2012b, Paredes et al. 2012). Así, los resultados del modelo pueden ser empleados para determinar los impactos ecológicos en una región y las medidas de protección de bienes y/o comunidades aledañas, a través de la creación de mapas de amenaza y la estimación de niveles de agua alcanzados durante un evento. Por medio de estos resultados es posible cuantificar los daños producidos por el evento, además de que permiten una correcta planificación de obras de protección o mitigación.

Cabe señalar que todos los modelos hidrodinámicos existentes están sujetos a incertidumbres asociadas a los datos de entrada, la variabilidad de cada evento, los errores de los datos geográficos y la falta de datos para la calibración del modelo (p. ej. Rauch et al. 2002, Pappenberger y Beven 2006 Korving et al. 2009). En consecuencia, es posible que en algunos casos, los resultados generados a través de este tipo de herramientas contengan una gran cantidad de incertidumbre (Ratto et al. 2001). Por lo tanto, es necesario desarrollar una metodología que permita reducir y limitar la incertidumbre asociada a las herramientas numéricas. El reto para la comunidad científica consiste en cómo obtener mapas de inundación confiables que determinen el área de inundación para un periodo de retorno dado.

3.2.3. RETOS Y ESTRATEGIAS PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIONES

1.- Mejorar los pronósticos

El mejoramiento de los pronósticos hidrometeorológicos, permitirá la generación de alertas tempranas más certeras y con el suficiente tiempo para permitir la evacuación. La anticipación adecuada tendrá un efecto directo en la mejoría de la respuesta de las dependencias federales involucradas en la protección de la población, sus bienes y la infraestructura estratégica como la red eléctrica y las vías de comunicación terrestre.

Acciones clave para enfrentar este reto se basan en la identificación de las limitaciones de los modelos hidrológicos e hidrodinámicos, y en la evaluación de su capacidad para pronosticar precipitaciones intensas y flujos asociados. Por otro lado, se anticipa que la asimilación de datos medidos en tiempo real, sea clave para el mejoramiento de los pronósticos. Por ejemplo, el uso de información proveniente de radares meteorológicos y estaciones hidrométricas en los modelos, es una actividad que comienza a ser explorada por diversos investigadores (Rico-Ramírez et al. 2009).

Recientemente y gracias al avance de las tecnologías, existe una creciente disponibilidad de datos de elevación de gran resolución (Baldassarre y Unlenbrook 2011), como los obtenidos con el sistema LiDAR (*Light Detection And Ranging*) que representa una de las técnicas de percepción remota más socorrida para la generación de Modelos Digitales de Elevación (MDE) de gran detalle y precisión. Entre los primeros trabajos que incorporaron datos LiDAR en el modelado de flujos de inundación se encuentra el de Mason et al. (2003) quienes además utilizaron esta información para caracterizar la altura de la vegetación en una llanura. Posteriormente y como resultado de la calidad de esta información, el Committee on Floodplain Mapping Technologies (2007) recomienda su utilización para la generación de mapas de inundación más certeros.

De forma alternativa, se puede considerar la utilización de datos topográficos que se encuentran disponibles de forma gratuita a nivel mundial, como el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) generado por la NASA (ver Falorni et al. 2005) a través de la misión topográfica de radar (SRTM, por sus siglas en inglés, *Shuttle Radar Topography Mission*). Esta información tiene una resolución espacial de 90m en la horizontal con una precisión vertical en zonas planas de ± 4m. Dada la poca precisión de este MDE en la vertical, su uso para la modelación de inundaciones ha sido restringido a zonas bajas en los que la dimensión de la mancha de inundación producida sea mucho mayor a la elevación del frente de agua (Sanders 2007).

2.- *Identificar y cuantificar la incertidumbre*

Cada etapa del proceso de pronóstico induce errores, por ejemplo, puede haber problemas en la adquisición de datos en campo o limitaciones en el conocimiento que redundarán en una reducción de la capacidad de los modelos para representar la realidad de forma fidedigna.

Diversos autores, han señalado la necesidad de clasificar la incertidumbre en diferentes tipos (Wynne 1992, Asselt y Rotmans 2002). Esencialmente, se argumenta que las evaluaciones numéricas del riesgo están condicionadas a las hipótesis de los modelos, por lo que se requieren diferentes tipos de incertidumbre para justificar su validez. Por ejemplo, la indeterminación se presenta cuando existe la duda abierta sobre la posibilidad de adaptar un conocimiento dado (ej. modelo) a un problema práctico específico. Mientras que la ignorancia, representa todo aquello que desconocemos de lo que todavía no sabemos, y que por definición no podemos identificar.

El proceso de análisis del riesgo está compuesto de forma típica por modelos matemáticos que tienen su base en el conocimiento de los procesos dominantes, los cuales se definen por medio de parámetros que determinan el balance de los mismos al interior del sistema. Por lo tanto, dentro del proceso de modelado es posible pensar en la clasificación

de la incertidumbre en dos ramas. Por un lado, la incertidumbre derivada de los residuales de la predicción de un modelo con ciertos parámetros, los cuales son de naturaleza aleatoria y por otro, la incertidumbre asociada a la selección de estos parámetros que es de naturaleza epistemológica (del conocimiento).

Siguiendo el marco de trabajo propuesto por Wynne (1992) y modificado por Spiegelhalter y Riesch (2011) se acepta que existen 5 niveles de incertidumbre tal y como se presenta en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Los cinco niveles de incertidumbre en el desarrollo de análisis del riesgo con base en resultados de modelos

NIVEL	NO HAY CERTEZA DE...	FUENTE DE LA INCERTIDUMBRE
1	Eventos	Impredecibilidad natural
2	Parámetros dentro de los modelos	Limitaciones de información
3	Estructura del modelo	Limitaciones en el conocimiento
4	Efectos del uso inadecuado de modelos (fuentes conocidas)	***Indeterminación*** - Limitaciones conocidas del conocimiento
5	Efectos del uso inadecuado de modelos (fuentes desconocidas)	***Ignorancia*** - Limitaciones que todavía no son conocidas del conocimiento

En el caso de la predicción de inundaciones, las incertidumbres epistemológicas (de conocimiento) están asociadas a los modelos numéricos del clima e hidrológicos. En realidad, cada componente de cada modelo posee su propia fuente de incertidumbre (ej. rugosidad, variabilidad tridimensional), por lo que se genera una propagación de los errores a lo largo del proceso de modelación que involucra el paso de las condiciones atmosféricas a las predicciones de lluvia, y de la lluvia a la predicción del escurrimiento (Pappenberger et al. 2005).

En los últimos 10 años se ha propuesto una posible solución a este problema mediante la implementación de técnicas de predicción basadas en ensambles EPS *(Ensemble Prediction Systems,* por sus siglas en inglés) que involucran la generación de n escenarios (o causas) asociados a una condición climática o meteorológica, a través de las cuales se generan n posibles hidrogramas (o consecuencias) asociados.

Este procedimiento permite generar un ensamble de posibilidades que podrían disminuir las incertidumbres asociadas al proceso de predicción de eventos extremos y sus consecuencias.

Los modelos así generados, se conocen como sistemas de predicción probabilísticos o estocásticos y están basados en determinar la naturaleza aleatoria de los fenómenos naturales. Esto permite definir la consecuencia más probable (representada por la media de las respuestas) y las bandas de confianza asociadas a un determinado pronóstico. De esta forma se considera la influencia de la incertidumbre en un sistema de predicción climática (Dietrich et al. 2008). Metodologías basadas en los pronósticos cuantitativos de precipitación QPF (Quantitative Precipitation Forecasts, por sus siglas en inglés) y en EPS han permitido realizar predicciones más certeras de hidrogramas en el corto plazo (3-10 días). De hecho, las organizaciones meteorológicas de todo el mundo están inclinándose cada vez más, hacia el uso de ensambles en sus predicciones climáticas. Por ejemplo, el Centro Europeo para la Predicción del Tiempo (ECMWF, por sus siglas en inglés, *European Centre for Medium Range Weather Forecasting*) proporciona predicciones acertadas con base en resultados de EPSs para precipitaciones de menor intensidad (2mm/h) hasta por 6 días y de precipitación alta (entre 2 y 10 mm/h) hasta en 10 días. Si bien estas cifras son inferiores a las tasas de precipitación típica durante los episodios de grandes inundaciones (de hasta 50 mm/h), se ha demostrado que el sistema de predicción por ensambles EPS, proporciona resultados con mayor confiabilidad respecto a la posible ocurrencia de tormentas severas (Buizza et al. 2007). Por otro lado, se acepta que los resultados provenientes de sistemas de predicción basados en ensambles EPS son muy superiores a aquellos obtenidos por medio de métodos deterministas (Bao et al. 2011, Mascaro et al. 2010).

La cuantificación de la incertidumbre está íntimamente relacionada a la generación de redes de observación de variables hidrológicas, atmosféricas y oceanográficas, a través de las cuales se anticipa mayor confiabilidad en los pronósticos de inundación en zonas donde actualmente no hay mucha certeza. Esto a su vez, permite la construcción de sistemas de alerta que pueden ser administrados por las autoridades a un bajo costo en relación con los daños que previenen.

En México, este tipo de metodologías se están comenzando a utilizar con cierto éxito, motivando la separación del proceso de pronóstico en etapas. Esto permite diagnosticar con mayor fiabilidad la fuente de incertidumbre y su propagación a lo largo de la cadena de simulación. En particular, se considera el escalonamiento de modelos meteorológicos, hidrológicos e hidrodinámicos, para mostrar la propagación de los errores en las predicciones del clima en la estimación de las avenidas en los ríos y la consecuente zona de inundación (Rodríguez-Rincón et al. 2012, Pedrozo-Acuña et al. 2013).

3. Entender la naturaleza de los eventos extremos

La ocurrencia de eventos extremos a lo largo de la historia es muy escasa, esto se traduce en una restricción respecto a la cantidad de información disponible sobre ellos. Es de gran interés contar con las mejores estimaciones de las magnitudes y efectos de este tipo de eventos. Esto involucra un mejor manejo de la información histórica, el desarrollo de nuevos métodos estadísticos para su tratamiento y el monitoreo de los mismos para la construcción de una mejor base de datos.

Entre más largo en el tiempo sea un registro de gasto o lluvia en un río o cuenca, es más probable que contenga un mayor número de eventos extremos. Con esta información es posible diseñar mejores obras de defensa, drenaje y almacena-miento, lo que a su vez permite mejorar el manejo del riesgo de inundación. Esta problemática indica la necesidad del monitoreo constante abocado a obtener más información sobre el lugar y frecuencia donde ocurren las inundaciones, lo cual es de gran importancia para la planeación municipal, el ordenamiento territorial y los servicios de manejo de emergencias; así como para compañías de seguros y reaseguradoras.

4. Impactos del cambio climático

Uno de los efectos esperados del cambio climático, consiste en la modificación del patrón de ocurrencia de los eventos extremos. La consecuencia más inmediata en México, consiste en el incremento de inundaciones fluviales y costeras, así como erosión costera en un futuro (Botello et al. 2010). Adicionalmente, se espera un aumento en el número e intensidad de tormentas que se registran por año, por lo que se producirá un aumento en la probabilidad de incidencia de mareas de tormenta extraordinarias sobre las costas. Esta sobreelevación del nivel del mar puede hacer que las zonas afectadas se extiendan entre los 11 y los 16 km tierra adentro en las zonas bajas (+1 ± 2m sobre el nivel del mar).

En la actualidad la resolución espacial en la que se utilizan los modelos climáticos, es demasiado gruesa (~ decenas de km) para proporcionar información al nivel de detalle que requieren los modelos hidrológicos (1km) y de inundaciones (metros). En consecuencia, dentro de las medidas más importantes para enfrentar este reto, se ubica la necesidad de acoplar modelos climáticos de mesoescala (kilómetros), con aquellos modelos hidrodinámicos de mayor detalle (metros) a fin de evaluar los posibles cambios futuros en función de proyecciones disponibles (p. ej. IPCC 2007).

3.2.4. REFLEXIONES FINALES

Uno de los retos más importantes para los científicos e ingenieros que trabajan con eventos extremos, reside en la estimación de su probabilidad de ocurrencia, severidad, duración, así como su posible ubicación. Los ciclones tropicales, las sequías prolongadas y las inundaciones son, todos, fenómenos que pueden traer consigo costos económicos muy elevados, conflictos sociales, muerte y destrucción.

Para enfrentar con éxito el reto de inundaciones más severas, bajo condiciones de un clima que está cambiando, es necesario reconocer que el conocimiento científico formal, está construido sobre hipótesis y juicios; y que éste tiene asociada una gran cantidad de incertidumbre, la cual no siempre es posible expresar por medio de un análisis de sensibilidad o bandas de confianza, y que además no necesariamente se reduce en función del volumen de información disponible. Por ello, es de gran trascendencia para nuestro país, motivar el desarrollo de una visión holística del problema, en la que se considere a la cuenca hidrológica como unidad básica para la gestión de los recursos hídricos (Pedrozo-Acuña 2012). Se requiere una administración más eficiente y sostenible del territorio, con medidas de ordenamiento territorial (p. ej. cambios en el uso de suelo) y ecológico de áreas proclives a inundación,

manejo de los drenajes urbanos, las tierras rurales y la zona costera, para lo cual se necesita la participación de todos los interesados en el proceso de manejo del riesgo de inundaciones (gobiernos estatales y federales, Cámara de Diputados, ciudadanos, académicos, organizaciones no gubernamentales).

Necesitamos evaluar de forma integral, con el mejor conocimiento disponible, los efectos que las inundaciones producen sobre los sistemas naturales, incluyendo medidas de vulnerabilidad, resiliencia, adaptabilidad y reversibilidad.

La generación de mejores estrategias para el manejo del riesgo, pasa de manera forzosa por una mejor comunicación entre la academia, el gobierno y la sociedad. Para ello, la honestidad resalta como la mejor política, pues favorece el incremento en los niveles de confianza de la sociedad hacia las opciones de protección que se propongan desde el gobierno.

Una vía natural para hacer frente a los eventos extremos que se avecinan, es a través de la aplicación del principio de precaución, en el que la acción preventiva se realiza sin esperar los resultados concretos de la evidencia científica (Stirling 2007). Es decir, la prevención toma un rol decisivo durante ambos, la evaluación y el manejo del riesgo de inundaciones.

En países en vías de desarrollo, la predicción adecuada de eventos extremos como las inundaciones es trascendental para permitir una mejor gestión de los recursos disponibles, que por otro lado están limitados debido a la alta vulnerabilidad de la sociedad durante su incidencia. La exposición continua a eventos extremos no anticipados, es un factor determinante en la persistencia de la pobreza y la desigualdad social. Es posible prever que la diseminación de pronósticos probabilísticos a una comunidad informada, reducirá el crecimiento de la pobreza producida por la exposición de las poblaciones a eventos no anticipados (p. ej. Webster y Hoyos 2004). Además, permitirán una mejor adaptación de la sociedad ante la ocurrencia de estos fenómenos en el corto y largo plazos.

En un futuro cada vez más próximo, tal y como lo señalan Obersteiner et al. (2001), la sociedad tendrá que hacer frente a las interacciones no lineales que se presentan entre los ecosistemas y un clima que está cambiando. Aunado a lo anterior, se suma la complejidad del crecimiento poblacional. En caso de no ser atendidas, estas interacciones darán lugar a malestares sociales aún mayores; sobre todo, en aquellas regiones del mundo en donde las sociedades no hayan fomentado su capacidad para afrontar riesgos climáticos adicionales. Sin lugar a dudas, es mejor invertir hoy en la resiliencia que habremos de necesitar el día de mañana.

3.3. HELADAS

Uno de los cambios esperados con el incremento de la temperatura superficial del aire y del mar es en la ocurrencia de temperaturas extremas, sean éstas máximas o mínimas. En particular, el cambio en las temperaturas mínimas tiene relevancia por su afectación en la producción de alimentos y la salud de la población. Cuando la temperatura del aire es igual o menor al punto de congelamiento del agua (0°C) se dice que ocurre una helada (WMO, 1992). Frich et al. (2002), encontraron evidencias que indican que la estación de crecimiento de las plantas se está alargando y que la ocurrencia de días con heladas está disminuyendo en la mayor parte de las latitudes medias y altas del hemisferio norte, resultado que coincide con el estudio realizado por Easterling (2002) para los Estados Unidos. Durante el siglo XX, Heino et al. (1999) y Bonland et al. (2001) reportan una disminución de días con heladas a lo largo del norte de Europa y Canadá, respectivamente.

Existen más trabajos en la literatura que demuestran que en varias regiones del planeta se ha observado un incremento del periodo libre de heladas (IPCC 2007, Qian et al. 2010, Sinha et al. 2010, Stone 1996, Tait y Zheng 2003, Terando et al. 2012, Weiss y Overpeck 2005). Sin embargo, la realidad para nuestro país es que las heladas aún causan estragos, principalmente en la agricultura debido a su alta variabilidad interanual (Stone 1996). Por ejemplo, las heladas presentadas durante los primeros meses de 2010, 2011 y 2012 en Sonora y Sinaloa, causaron cuantiosos daños. Se estima que estos eventos, junto con la sequía del 2011-2012 que afectó a 23 de las 32 entidades federativas, y que ha sido diagnosticada como la más prolongada que ha vivido México en los últimos 70 años, han causado afectación en poco más de siete millones de hectáreas de cultivos. Estados como Chihuahua, Durango, Zacatecas (con vastas zonas agrícolas de temporal), Sonora y Sinaloa (con extensas zonas de riego) han tenido que recurrir a la ayuda de los gobiernos federal y estatal para solventar los cuantiosos daños. Entre 2000 y 2012, el número de declaratorias identificadas como "causadas por heladas y temperaturas bajas" (CENAPRED 2012), suma 400, cantidad que si bien es modesta en relación con las emitidas por inundaciones (Tabla 3.2), representa enormes pérdidas para la producción de alimentos en el país. Las últimas cifras reportadas indican que el costo por este fenómeno en los estados de la república en 2010 ascendió a poco más de 647 millones de pesos (García 2012).

Tabla 3.4. Noticias publicadas en el diario **El Universal** en relación con las heladas ocurridas en 2011 y 2012 en México.

FECHA	DESCRIPCIÓN
Noche del 2 al 3 de febrero del 2011	La peor tormenta invernal de los últimos 50 años en Chihuahua provocada por el frente frío No. 26 paralizó servicios y actividades en general. Se congelaron los pozos que abastecen al agua afectando a 90,000 usuarios. Las nevadas y bajas temperaturas (hasta -20°C) se reportaron en Chihuahua y las zonas montañosas de Durango, Coahuila, Nuevo León, Sonora, Zacatecas y Tamaulipas.
2-4 de febrero de 2011	La Secretaría de Fomento Agropecuario informó que en total se afectaron 19 705 ha de cultivos en Coahuila y 46 096 ha sembradas en el sur de Sonora, por las heladas provocadas por los frentes fríos 26 y 27. El 16 de febrero de 2011 la CONAGUA declara zona de desastre a 72 municipios de Sonora. El 06 de octubre del 2011 se emite la declaratoria de desastre natural en el sector agropecuario, acuícola y pesquero para los 38 municipios de Coahuila.
5 de febrero del 2011	En Tamaulipas, Desarrollo Rural prevé afectaciones en 290 000 ha de maíz y sorgo en ocho de los 43 municipios de la entidad por las bajas temperaturas de hasta -5°C.
3-6 de febrero de 2011	Heladas severas afectan a 11 municipios de Sinaloa y 39 de Durango. En Sinaloa se registran estragos totales o parciales en 90% de las 715 000 has de cultivos de granos hortalizas y frutas (especialmente de exportación).
8-10 de Sep. del 2011	En el Estado de México se reportan más de 200 000 has afectadas por heladas atípicas.
28-30de Nov. del 2011	Se registran heladas en 10 municipios de Veracruz. El 02 de noviembre de 2011 la Secretaría de Gobernación emite la declaratoria de emergencia.
23-27de Dic. del 2011	Se presenta una helada muy severa en Choix, Sinaloa. El 29 de diciembre de 2011 se emite la declaratoria de Emergencia para este municipio.
24 de Dic. del 2011	Temperaturas de hasta -5°C fueron registradas en el Valle del Carrizo, Sinaloa, afectando total o parcialmente 5 000 has de hortalizas y una cantidad no cuantificada de maíz y frijol que sufrieron daños parciales.
2 de enero del 2012	Durante lo que va de la temporada invernal suman 10 las muertes y 126 intoxicados con monóxido de carbono en Chihuahua.
19 de enero del 2012	En Durango se reportan 6 decesos por intoxicación con monóxido de carbono al intentar calentar su vivienda.
11 de abril del 2012	El gobernador de Chihuahua, César Duarte Juárez, declara que el recuento de daños provocados por la sequía y las heladas en la entidad asciende a más de $4 000 millones de pesos.
23-25 de abril de 2012	Heladas atípicas afectaron más de 5 000 has en municipios del oriente y poniente del Estado de México.
1 de mayo de 2012	Helada atípica dañó más de 60 000 ha de cultivo en la zona del Valle y Cofre de Perote.

Las bajas temperaturas y las heladas son también un problema de salud pública, principalmente en indigentes, niños y personas de la tercera edad de zonas marginadas del país. Entre el 01 de octubre de 2011 y el 18 de febrero de 2012 la Secretaría de Salud informó que se registraron 44 muertes por causas asociadas a las heladas (31 intoxicados por monóxido de carbono, 11 por hipotermia y 2 por quemaduras) en los estados de Chihuahua (21 decesos), Durango (6), Sonora (4), Baja California (3), Hidalgo (3), Guanajuato (2), Nuevo León (1), Coahuila (1), Aguascalientes (1), Puebla (1) y Jalisco (1). Un año antes, al cerrar la temporada 2010-2011 se contabilizaron un total de 27 muertes y 309 intoxicados con monóxido de carbono, tan solo en Chihuahua, mientras que durante la temporada de frío 2009-2010 fueron 22 los muertos por hipotermia en esa entidad. La Tabla 3.4 muestra algunas noticas relevantes publicadas en el periódico **El Universal** en relación con la ocurrencia de heladas en 2011 y 2012 en México.

3.3.1. ORIGEN Y FACTORES QUE AFECTAN LA OCURRENCIA DE HELADAS

La intrusión de aire frío continental desde altas latitudes hacia el trópico puede llegar a producir un descenso drástico de la temperatura a su paso por México dando lugar a la ocurrencia de heladas. Este descenso puede durar varios días. En la porción noroccidental de México, la intrusión de aire frío está asociada a sistemas de baja presión que atraviesan el norte de México. La energía que impulsa a estos sistemas de baja presión proviene de las corrientes de chorro subtropical y de latitudes medias que pueden ser activas en las cercanías de Sonora durante el invierno (Brito-Castillo et al. 2010). En la parte frontal de estos sistemas hay un cambio brusco en las propiedades térmicas y dinámicas de las masas de aire vecinas por lo que se les conoce como frentes fríos extratropicales. Estos sistemas pueden no generar precipitación alguna debido al acceso limitado de humedad subtropical y de altas latitudes. En cambio pueden promover condiciones ideales para la generación de temperaturas de congelación en un área muy extensa.

Al paso de frentes fríos por el noreste de México y el Golfo de México se le conoce como *Nortes* (Cavazos 1997, 1999, Schultz et al. 1998). A su paso por el continente y en dirección hacia el noreste de México, la intrusión de aire frío asociada a una alta presión superficial es favorecida por forzamiento dinámico a través de una región alargada de presión atmosférica relativamente baja en niveles altos de la atmósfera conocida como vaguada. En muchas ocasiones la vaguada se posiciona sobre una región tropical donde además puede converger la corriente en chorro a una altura de 12 km aproximadamente (200 hPa). La orientación de la Sierra Madre Oriental encauza la intrusión de aire frío hacia el sur, provocando descensos de temperatura que pueden llegar a afectar el noreste, centro y sureste de México y Centroamérica (Cavazos 1997, 1999, Schultz et al. 1998). Los registros muestran que después de que ocurre un año con condiciones El Niño y la corriente en chorro subtropical converge sobre el Golfo de México, se observa un incremento en el número de *Nortes* (Cavazos y Hastenrath Hastenrath 1990, Magaña et al. 2003) en comparación a los que se presentan durante años con condiciones La Niña (Shultz et al. 1998, Magaña et al. 2003); esto se debe en parte a que la corriente en chorro subtropical tiende a estar más al sur de lo normal durante años El Niño (Cavazos y Hastenrtah 1990). Los *Nortes* ocasionalmente pueden provocar lluvias intensas en el sureste de México, cuando las masas de aire

frío en su desplazamiento hacia el sur son modificadas por las aguas cálidas del Golfo de México (Cavazos 1997). Hasta un 80%-95% de todos los descensos de temperatura observados en la oscilación diaria, entre noviembre y abril en el noreste de México, están relacionados con el paso de frentes fríos (Schultz et al. 1998), incidiendo sin duda en la climatología de México. Estos descensos de temperatura están acompañados de vientos intensos que fluyen desde el noroeste por detrás de un frente frío dando lugar a los valores máximos de presión y velocidad del viento al nivel del mar en la costa del Golfo de México (Shultz et al. 1998) y en el Istmo de Tehuantepec, generando lo que se conoce como Tehuanos (Romero-Centeno et al. 2003). Los vientos alisios se fortalecen por el paso de anticiclones y masas de aire frío sobre el Golfo de México, los cuales también llegan a afectar a la Península de Yucatán con descensos de temperatura y vientos fuertes.

Diciembre y enero son los meses de mayor impacto en la ocurrencia de heladas en México (Matías et al. 2007). Las temperaturas mínimas (sin paso de un frente frío) se presentan típicamente muy cerca del alba después de una noche con fuerte pérdida de energía radiativa. El valor de la temperatura del aire depende de numerosos factores entre los que se encuentran: (1) la inclinación del sol, intensidad y duración de la luz del día; (2) las características de la superficie (elevación, aspecto, humedad del suelo, cubierta vegetal) que controlan el albedo y la manera en que el calor disponible se divide en calor sensible y latente; (3) la cubierta de nubes y (4) el paso de masas de aire y frentes que regulan la temperatura local. Las nubes afectan la temperatura del aire reduciendo las temperaturas máximas e incrementando las temperaturas mínimas mientras que los cielos claros (libres de nubes) producen el efecto contrario, es decir, incrementan las temperaturas máximas y disminuyen las temperaturas mínimas. Durante el día, la advección (transporte de masas de aire), dependiendo de la temperatura de la masa de aire advectada, puede causar que la temperatura del aire se incremente más rápido, o más lento de lo habitual. Si la advección de aire frío es intensa, la temperatura del aire puede continuar descendiendo durante el día aun cuando las condiciones sean soleadas y con cielos claros. Esto indica que los descensos de temperatura también dependen de factores de gran escala. Los estudios regionales realizados por Englehart y Douglas (2004) indican que la variabilidad de la temperatura del aire en México muestra variaciones de largo periodo (medidas en décadas) que están parcialmente asociadas a los modos de evolución lenta del clima de larga escala de la Oscilación Multidecenal del Atlántico y de la Oscilación Decenal del Pacífico. Esto indica que se pueden presentar períodos de varios años mucho más fríos de lo habitual (más susceptibles a la ocurrencia de heladas), y periodos mucho más cálidos de lo habitual (con una disminución en la ocurrencia de heladas). El anterior comportamiento se observa en algunas partes del país, como el estado de Zacatecas, que recibe la influencia de las masas de aire templadas en invierno y cuyos registros de temperatura muestran tendencias (cambios monótonos de la temperatura del aire) hacia el incremento en algunas décadas y hacia el descenso en otras, parcialmente afectadas por los movimientos de circulación planetaria (Brito-Castillo et al. 2009). Otros factores que se han descrito en la literatura como causa de las tendencias observadas en las temperaturas mínimas en México son el cambio de uso del suelo (Englehart y Douglas 2005), el incremento en la urbanización (Terehschenko y Filonov 2001) y el calentamiento global por causas humanas (Weiss y Overpeck 2005), cuyos efectos son siempre hacia la disminución en la ocurrencia de heladas.

¿Dónde ocurren las heladas?

Los lugares más propensos en México para la ocurrencia de heladas (ver Fig. 1.8 de este libro) se localizan en las sierras Tarahumara (Durango) y Tepehuanes (Chihuahua, Durango, Sonora y Zacatecas); la parte central del país (Michoacán, Estado de México, Distrito Federal, Tlaxcala, Puebla e Hidalgo) que limita con el Sistema Volcánico Transversal (Matías et al. 2007); las Sierras San Pedro Mártir y de Juárez (Baja California) y porciones de los estados de San Luis Potosí y Zacatecas. En estas regiones la duración del periodo de heladas es de unos 120 días en el año en promedio.

Los estados del Golfo de México, Nuevo León, Tamaulipas y Veracruz, año con año se ven afectados por el paso de frentes fríos, comúnmente conocidos como *nortes*, que generan lluvias ligeras (chipi chipi) y heladas. El paso de estos frentes también afecta a los estados de la región central de México y hasta el Istmo de Tehuantepec. Sin embargo, se debe de reconocer que las lluvias invernales generadas por el paso de frentes fríos y *nortes* son favorables para el llenado de presas, la agricultura de temporal y el mantenimiento de ecosistemas.

3.3.2. MÉTODOS DE PROTECCIÓN CONTRA LAS HELADAS

Cuando se acerca la temporada invernal (de noviembre a marzo) es necesario mantenerse bien abrigados y evitar las ráfagas de viento frío que pueden conducir a enfermedades respiratorias. Lo recomendable es mantenerse en lugares cerrados y recibir una alimentación rica en vitaminas A y C (Matías et al. 2007). Desafortunadamente, en México existe una gran parte de la población que es muy vulnerable a las bajas temperaturas, particularmente en las zonas más marginadas, donde la búsqueda de protección contra el frío mediante la quema de carbón y leña en lugares cerrados ha conducido a la intoxicación y muerte en algunos casos (ver más arriba). Este es un problema de salud recurrente particularmente en las regiones montañosas de Chihuahua y Durango.

En los terrenos agrícolas, donde la ocurrencia de heladas puede conducir a la pérdida total de los cultivos, existen diferentes estrategias para la protección contra este fenómeno. Entre los métodos comúnmente usados se encuentran aquellos que en forma pasiva buscan reducir la afectación mediante la elección apropiada de las especies, variedades, época de cultivo y ubicación de las plantas. También pueden aplicarse métodos más directos basados en acciones tomadas antes y durante el periodo de ocurrencia de una helada. Estos métodos buscan reducir la pérdida de calor del suelo mediante la protección de la planta con cajones, cestos, entablillados de madera y otros elementos vegetales, o mediante la producción de nieblas o humos artificiales que protejan la capa de aire adyacente al suelo. En la producción de niebla generalmente se utilizan ramas de árboles podados, estiércol, aserrín, paja, madera, pasto y en algunos casos llantas usadas. Algunos agricultores utilizan sustancias químicas como fósforo rojo, cloruro de amonio, cloruro de zinc, amoniaco, entre otros. El gran problema que se genera con estos materiales es la contaminación del aire y problemas respiratorios cuando no se tienen los cuidados adecuados. Si las condiciones lo permiten otros métodos utilizados como protección contra las heladas consisten en el riego del cultivo. Por ejemplo, el riego por canales, el riego por aspersión y el riego por inundación que se restringe a la resistencia del cultivo a la inundación y a la disponibilidad de grandes cantidades de agua.

3.4. INCENDIOS FORESTALES

La Tierra es un planeta intrínsecamente inflamable debido a su cobertura de vegetación rica en carbono, climas estacionalmente secos, oxígeno atmosférico, con amplia distribución de relámpagos y erupciones volcánicas (Bowman et al. 2009, 2013), por tal motivo no es de extrañar que los incendios forestales aparezcan en los registros geológicos inmediatamente después de la aparición de las plantas. Los costos asociados a los incendios forestales son cuantiosos. Por ejemplo, las estimaciones realizadas de los incendios ocurridos en los bosques tropicales del sureste asiático y que han sido relacionados con El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) 1997-98 son del orden de $8,800 a 9,300 MDD, de los cuales cerca de $1,000 MDD se asocian a efectos adversos de salud por la inhalación del humo. En Latinoamérica, para el mismo periodo se devastaron más de 20 millones de hectáreas con pérdidas en daños calculadas en $10,000 a 15,000 MDD (UNEP 2002). Según cifras de la CONAFOR (2012) durante 1998 (año de El Niño) en México ocurrieron 14 445 incendios forestales, cantidad que no ha sido superada hasta la actualidad. Bitrán Bitrán (2001) menciona que el 66.9% de los incendios forestales no controlados en ese año tuvo su origen en las quemas agropecuarias cuyas condiciones fueron favorecidas por la enorme sequía de 1997-98 registrada en el país (Douglas y Englehart 1999).

Desde 1926 se ha venido desarrollando en México una estrategia general de prevención y control de incendios forestales (CONAFOR 2008), sistematizada a través del Programa Nacional de Protección contra Incendios Forestales, y en cuya aplicación participan instituciones de los tres órdenes de gobierno, organismos civiles y voluntarios. La institución responsable de su operación es la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR 2008), la cual define a los incendios forestales como la propagación libre y no programada del fuego sobre la vegetación en los bosques, selvas y zonas áridas y semiáridas. En la mayoría de los casos en que ocurre un incendio el combustible es el factor principal que determina su ocurrencia, así como la dificultad para controlarlo y la probabilidad de su comportamiento extremo o irregular. Los incendios pueden ser ocasionados por causas naturales, por accidentes, por negligencia o intencionalmente, y se dividen en incendios permanentes y transitorios. En los incendios permanentes, el combustible es el factor principal (los otros dos ingredientes son el oxígeno y el calor y juntos forman el triángulo del fuego) pero su inicio puede ser ocasionado por causas naturales o actividades humanas. Según reportes de la CONAFOR entre 1998 y 2005, las actividades agropecuarias fueron responsables del 44% de todos los incendios ocurridos en México seguido de causas intencionales (litigios o

rencillas) con 19%, fogatas 12%, fumadores 11% y otras causas con el 14%. Los cambios en el uso del suelo ha sido una de las causas que se ha sugerido afectan partede la variabilidad de los incendios forestales, por ejemplo en los bosques de Durango (Fulé y Covington 1997, 1999, Heyerdahl y Alvarado 2003) y Baja California (Minning 1983). Los factores que convierten estos fenómenos en desastres son las sequías, la extensión del área forestal afectable, la velocidad del viento al momento del incendio, y la continuidad y comunicación prevaleciente entre áreas (Bitrán Bitrán 2001, Smith 1989, Westerling et al. 2003). Los incendios transitorios están en cambio constante, y tienen que ver con factores meteo-rológicos como la temperatura, la humedad relativa, la velocidad, dirección del viento y la lluvia (CENAPRED 2007, CONAFOR 2008).

En México se cuenta con una gran biodiversidad forestal, distribuida en tres grandes ecosistemas: templado-frío, tropical y zonas áridas. En este conjunto, la superficie de zonas forestales suma 141.7 millones de hectáreas (Inventario Nacional Forestal 2000, citado en CONAFOR 2008), de las cuales 56.8 millones son arboladas (Bitrán Bitrán 2001). Se presentan dos temporadas de incendios forestales en el país, la primera que corresponde a la zona centro, norte, noreste, sur y sureste del territorio nacional, la cual se inicia en enero y finaliza en junio. La segunda temporada se presenta en el extremo noroeste del país que inicia en mayo y termina en septiembre. En cada caso, las temporadas coinciden con la época de mayor estiaje, respectivamente (García et al. 2006).

3.4.1. PROBLEMÁTICA

Las estadísticas proporcionadas por la CONAFOR (2012) para el período 1970-2012 indican una tendencia creciente en el número de incendios forestales que se han presentado en el país (Fig. 3.2). Aunque los datos muestran una alta variabilidad interanual sobresalen por el número de incendios ocurridos en todo el país los años 1998 (con 14,445 incendios), año posterior a un evento fuerte de El Niño 2011 (12,113) y 1987 (10,942). Los incendios ocurridos en Michoacán (Fig. 3.2C), Oaxaca (Fig. 3.2F), Veracruz (Fig. 3.2H), Tlaxcala (Fig. 3.2I), Hidalgo (Fig. 3.2L), San Luis Potosí (Fig. 3.2O) y Tamaulipas (Fig. 3.2U) durante 1998 superan todas las cifras registradas entre 1970 y 2012 en esos estados. Aun cuando se ha mencionado que la causa principal de los incendios forestales es de origen humano, es necesario subrayar que el incremento constante en el número de incendios forestales de las últimas cuatro décadas es una característica observable en 23 estados de la república (Figura 3.2). Esta situación pone de manifiesto que el problema de los incendios forestales en México se está convirtiendo en un problema de estrategia nacional. El ajuste de una línea de tendencia a las series del número acumulado anual de incendios forestales (mediante el método de mínimos cuadrados y considerando la autocorrelación de las series para una mejor estimación de la pendiente), muestran que el incremento recurrente de incendios forestales es superior en Chihuahua (Fig. 3.2A) (con tendencias de 22.3 ± 15.9 incendios/año); Distrito Federal (Fig. 3.2B) (15.5 ± 6.8 incendios/año) y Michoacán (Fig. 3.2C) (12.8 ± 5.8 incendios/año), que en el resto de los estados de la república.

El incremento recurrente en el número de incendios registrados en el país entre 1970-2012 es coherente con el incremento observado en la superficie forestal afectada (Tabla 3.5). La tendencia estimada para todo el país es de 4,627 ± 2,155 ha/año, aunque en este último caso la tendencia hacia el incremento anual en la superficie forestal afectada por incendios solo afecta a cuatro estados de la república: Baja California, Guerrero, Zacatecas y Yucatán (Tabla 3.5). Esto indica que si bien se está incrementando el número de incendios forestales observados cada año, la superficie afectada en los 23 estados señalados anteriormente sigue un comportamiento distinto. En particular llama la atención el comportamiento observado en Baja California y Guerrero. En Baja California, la tendencia observada en el número de incendios forestales ocurridos anualmente es inferior a seis (5.9±5.7 incendios/año), pero la tendencia observada en la superficie afectada anual acumulada de esa entidad (452 ± 177 ha/año) supera en magnitud a las otras tendencias observadas en los demás estados. El incremento en la superficie forestal afectada por los incendios en Baja California ya ha sido señalada anteriormente (Minning 1983), indicando que los incendios se vuelven cada vez menos controlables. Esto se debe principalmente al clima árido y semiárido de la región, con casi 7 meses sin lluvias, y al paso de eventos Santa Ana que se caracterizan por vientos fuertes y muy secos, los cuales propician condiciones favorables para que pequeños descuidos humanos generen incendios.

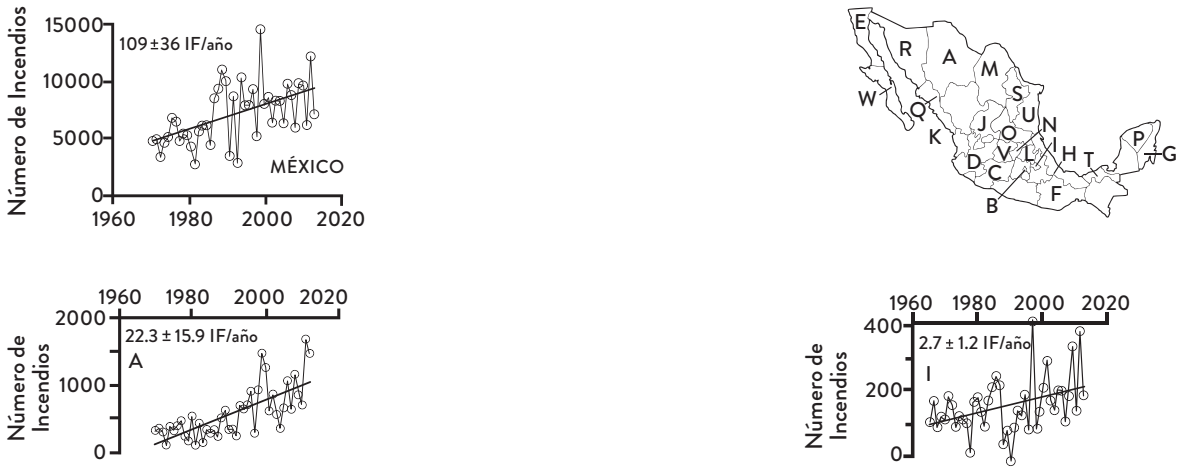
Tabla 3.5. Características de las series de superficie acumulada anual afectada por incendios forestales y sus pendientes lineales ajustadas entre 1970-2012. Solo se muestran los resultados para los estados cuyas series manifiestan significancia estadística mayor al 95% ($\alpha < 0.05$) en sus pendientes. Cv = Coeficiente de variación; α = significancia estadística de la pendiente ajustada; b = pendiente ajustada; SE_b = error estándar de la pendiente ajustada.

ESTADO	Media anual	Valor máximo	Valor mínimo	Cv	α	b	SE_b
	(miles de hectáreas)					(ha/año)	
TODO MÉXICO	238.80	956.40	44.40	0.7	0.03	4627	2155
BAJA CALIFORNIA	12.91	71.85	0.00	1.2	0.02	452	177
GUERRERO	8.51	26.86	0.29	0.8	0.00	345	48
ZACATECAS	6.66	43.64	0.00	1.5	0.03	260	129
YUCATÁN	2.28	15.46	0.00	1.5	0.00	166	73

El estado de Guerrero no muestra una tendencia significativa en el número de incendios ocurridos anualmente entre 1970-2012, sin embargo, los resultados del análisis indican que los incendios ocurridos en este estado están afectando a una superficie cada vez mayor (Tabla 3.5). La relación del cociente *superficie afectada entre número de incendios forestales* se considera un indicador de eficiencia (CONAFOR 2012).

Los resultados del análisis indican que este indicador es creciente en solo dos estados: Guerrero y Yucatán (Tabla 3.6). Es decir, en estas dos entidades federativas la ocurrencia de cada incendio forestal está afectando a un número cada vez más creciente de superficie forestal. Este comportamiento sugiere que los incendios forestales en Guerrero y Yucatán son cada vez más severos y puede ser una señal de que se salen de control con mayor facilidad. Debido a que este indicador en particular muestra el incremento en la afectación de un incendio forestal se sugiere investigar las causas de estos incrementos en posteriores estudios.

Figura 3.2. Series del número de incendios acumulados anualmente (líneas con círculos) entre 1971 y 2012, para todo el país (figura superior izquierda) y para 23 estados de la república (A-W, ver mapa para ubicación de los estados) cuyas pendientes ajustadas (líneas inclinadas en cada serie) resultaron estadísticamente significativas ($\alpha < 0.05$). Nótese que el eje Y en las series varía para apreciar mejor la dispersión de las series. Se indica el valor de la pendiente en cada caso, expresado como IF/año, donde IF es el número de incendios, y ± define el 95% de las bandas de confianza para cada pendiente. (Fuente de datos: CONAFOR 2012).



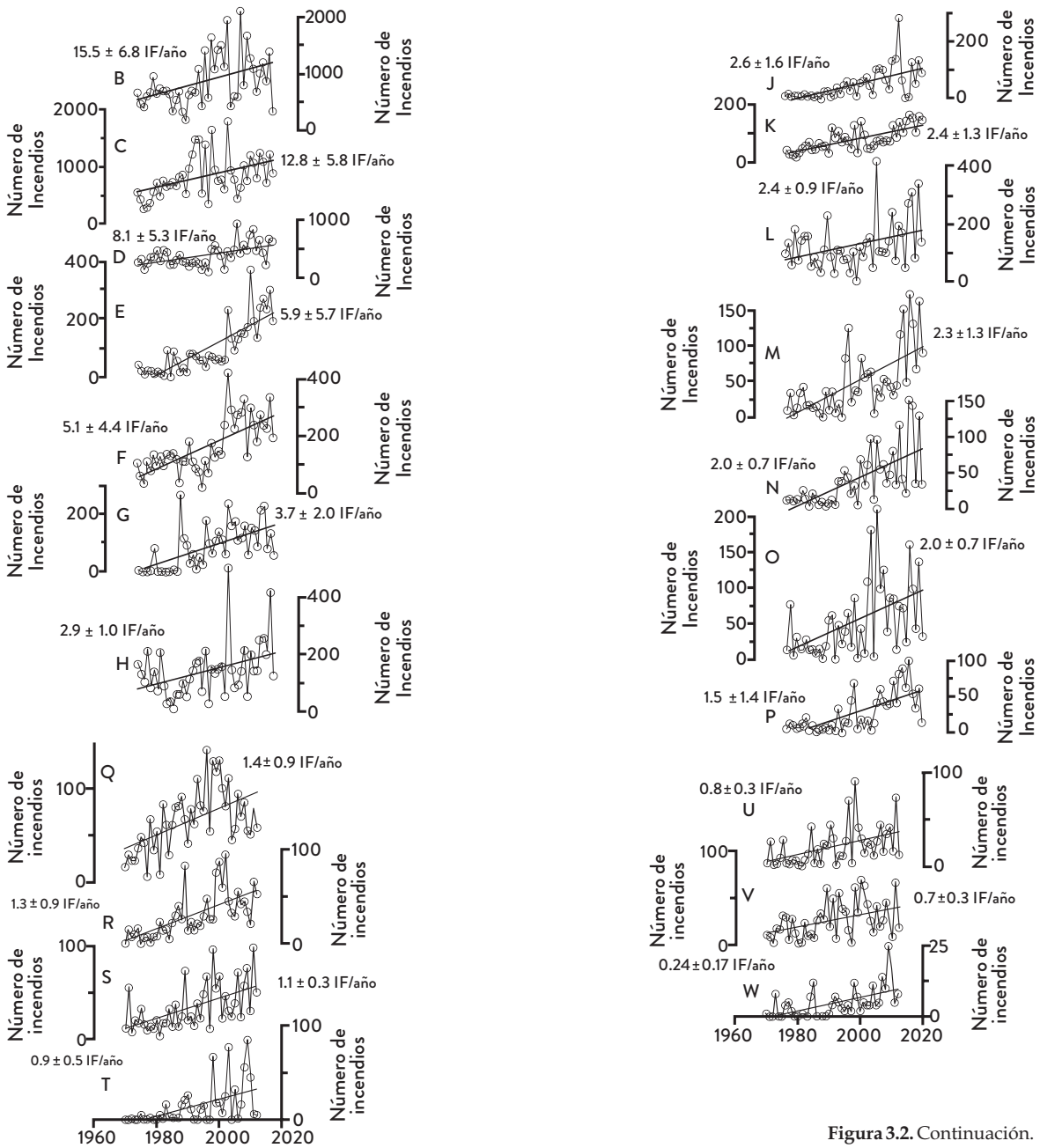


Figura 3.2. Continuación.

Tabla 3.6. Características de los indicadores de eficiencia (es decir, cocientes de relación superficie afectada entre número de incendios forestales, ha/incendio) y sus pendientes lineales ajustadas entre 1970-2012. Solo se muestran los resultados para los estados cuyos indicadores de eficiencia manifiestan significancia estadística en sus pendientes ($\alpha < 0.05$). Cv = Coeficiente de variación; α = significancia estadística de la pendiente ajustada b = pendiente ajustada; DE_b = error estándar de la pendiente ajustada.

ESTADO	Media anual	Valor máximo	Valor mínimo	Cv	α	b	SE_b
	(ha)					ha/ (incendio x año)	
GUERRERO	41.9	93.7	7.0	0.6	0.00	0.98	0.69
YUCATÁN	58.5	322.0	0.0	1.2	0.01	2.09	0.97

3.4.2. COMBATE CONTRA LOS INCENDIOS FORESTALES

En la actualidad se utilizan equipos modernos y sofisticados para controlar los incendios forestales (Cohen 2007, Bowman et al. 2013), pero la batalla está lejos de ser ganada, principalmente debido a la incertidumbre del clima, la calidad de los pronósticos meteorológicos y el desconocimiento del papel que juegan los incendios en el funcionamiento de los ecosistemas. En la actualidad se reconoce que los patrones de intensa actividad de incendios forestales están en función de las propiedades del clima, la biología y la influencia del hombre (Bowman et al. 2013).

Existen diferentes mecanismos para evitar que un incendio forestal se convierta en desastre los cuales consisten en (1) la prevención; (2) la detección oportuna y (3) el combate del incendio (CONAFOR 2008). Aunque en la actualidad se utilizan diferentes tecnologías para controlar un incendio forestal (Cohen 2007), como el uso de aviones no tripulados y los sensores remotos para su detección oportuna, las condiciones meteorológicas existentes al momento del incendio, por ejemplo la velocidad e intensidad del viento, la sequía extrema y el exceso de materia orgánica seca (Westerling et al. 2003), pueden hacer que el incendio se propague muy rápidamente poniendo en peligro los edificios habitables que se encuentren cerca (Bowman et al. 2013).

La prevención consiste en el conjunto de acciones, trabajos de ingeniería y elaboración de normas jurídicas, destinados a evitar que se origine un incendio. Las acciones involucran la difusión de información a la población sobre el valor del recurso con el fin de crear conciencia y se asegure la protección del bosque. Los trabajos de ingeniería están destinados a eliminar todo material que sirva de combustible y que se encuentre disperso en el bosque. Esta actividad se realiza mediante la construcción de brechas cortafuego, ya sea con herramienta manual o maquinaria pesada que garanticen que el fuego no se propague, y con quemas controladas (CONAFOR 2008) que consisten en combatir el fuego con el fuego reduciendo la materia orgánica e interrumpiendo su continuidad horizontal como combustible. Las quemas controladas deben ser supervisadas por personal con experiencia a fin de evitar que se conviertan en parte del problema. La elaboración de normas jurídicas, como la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (publicada en DOF 2003) y su reglamento (DOF 2005), establecen las medidas de conservación forestal, los medios de control, vigilancia y las sanciones forestales a las que se hacen acreedores las personas involucradas en el aprovechamiento y conservación de los recursos forestales (como propietarios de los terrenos forestales, los prestadores de servicios técnicos forestales responsables de los mismos y los encargados de la administración de las áreas naturales protegidas).

La detección oportuna consiste en descubrir, localizar y notificar la ocurrencia de un incendio forestal a una central de operaciones que coordinará las acciones necesarias para su extinción inmediata. La detección de un incendio se puede realizar a través de una torre de observación fija localizada en zonas de alto valor socioeconómico y de alto riesgo de incendios forestales, o bien mediante recorridos continuos en vehículos especiales, a caballo o a pie cuando el campo de visión de la torre no es suficiente para cubrir toda el área.

En la vigilancia también se hace uso de avionetas y helicópteros, pero considerando el alto costo de este sistema de vigilancia, su uso se restringe en función de la ocurrencia histórica acumulada de incendios, la condición de los combustibles, el valor de los recursos forestales y las condiciones meteorológicas. Tiene la gran ventaja de cubrir grandes extensiones de terreno, transmitir información precisa de la localización de un incendio y efectuar su reconocimiento de manera oportuna.

1. Uso de sensores remotos

En 1999, la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO) implementó el "Programa de detección de puntos de calor mediante técnicas de percepción remota" con recursos de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo internacional (*USAID - The United States Agency for International Development*), proporcionados a través del Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. y haciendo uso de imágenes satelitales de la Administración Nacional para el Océano y la Atmósfera-Centro Nacional de Datos Geofísicos (NOAA-NGDC *National Oceanic and Atmospheric Administration-National Geophysical Data Center*) (CONABIO 2012).

Actualmente, la CONABIO y el Servicio Meteorológico Nacional proporcionan el servicio de detección de focos de calor mediante el uso de imágenes de satélite NOAA-AVHRR-LAC (*Advanced Very High Resolution Radiometer – Local Area Coverage*) y de los satélites AQUA y TERRA de la NASA e imágenes MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) que cubren el territorio nacional.

Además de información traducida en puntos de calor que se actualiza diariamente (CONAFOR 2008, CONABIO 2012).

La CONAFOR tiene dividido al país en seis regiones administrativas para la protección contra los incendios forestales: (1) Región Centro, que involucra a los estados de Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, México, Tlaxcala, Morelos, D.F y Puebla, (2) Región Occidente-Sur, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca; (3) Región Norte, Chihuahua, Sinaloa, Durango y Zacatecas; (4) Región Noroeste, Baja California, Baja California Sur y Sonora; (5) Región Noreste, Coahuila, Tamaulipas, Nuevo León y San Luis Potosí y (6) Región Sureste, Veracruz, Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. Desde 1961 cada entidad federativa cuenta con brigadas, campamentos, torres de observación y equipo especial para hacer frente a los incendios forestales. A partir de 1992 se pusieron en operación un Centro Nacional de Control de Incendios Forestales (CRCIF) y centros regionales. El CRCIF se encuentra operando en Zapopan, Jalisco, en las oficinas centrales de la CONAFOR (2008).

Cuando el incendio forestal es inminente, el objetivo de la central de operaciones es extinguirlo de la manera más efectiva, rápida y segura, por lo que se cuenta con programas de movilización coordinadas que evalúan la situación y aplican diferentes métodos de combate contra el fuego. Cuando la ocurrencia del incendio forestal es de gran magnitud se obtiene el apoyo de la Secretaría de la Defensa Nacional, Marina y Gobernación a través de la Dirección General de Protección Civil.

3.4.3. SOBRE EL PRONÓSTICO DE UN INCENDIO FORESTAL

Una de las principales limitantes relacionadas con el pronóstico de los incendios forestales bajo condiciones de calentamiento global es que los modelos no incorporan los procesos de retroalimentación positiva entre fuego-clima-vegetación que consecuentemente incrementarían el calentamiento global del clima (Bowman et al. 2013). Los incendios forestales son resultado de factores naturales como la disponibilidad de combustible, la temperatura, la precipitación, el viento, la humedad y el lugar de impacto de un rayo, así como de factores asociados a actividades humanas (Westerling et al. 2003, 2006, Bowman et al. 2013). Las fluctuaciones del clima afectan el comportamiento de los factores naturales y la forma en como estos influyen en la severidad de los incendios forestales en una amplia variedad de escalas espaciales y temporales. Los estudios realizados por Simard et al. (1985), Swetnam y Betancourt (1990) y Jones et al. (1999) demuestran que los patrones del clima de escala planetaria en conjunción con el fenómeno de El Niño afectan la frecuencia y extensión de los incendios forestales ocurridos en algunas regiones de Estados Unidos. Se ha encontrado que los incendios ocurren en años secos posteriores a años húmedos en asociación con eventos El Niño-La Niña (Swetnam y Betancourt 1990, Heyerdahl y Alvarado 2003). Estudios más detallados realizados por Westerling et al. (2003, 2006) muestran que en diferentes tipos de bosques localizados en el occidente de Estados Unidos, las relaciones entre la humedad disponible (investigada mediante el índice de severidad de Palmer PDSI por sus siglas en inglés) y la ocurrencia de incendios son significativas en años de antelación, como ocurre en el

desierto de Mojave (con un año de antelación) y el sureste de Arizona (con dos años de antelación). Esta relación se explica de la siguiente manera, cuando hay humedad suficiente, por ejemplo durante una temporada lluviosa (inviernos húmedos en años El Niño), hay mayor crecimiento de las plantas, principalmente de pastos y arbustos pequeños, lo que permite una mayor acumulación de biomasa que al secarse y no disponer de agua en la siguiente estación (sobre todo cuando las condiciones son más secas de lo normal) provee de mayor cantidad de combustible en el bosque susceptible de encenderse, es decir, el incremento de incendios forestales en un año está condicionado a la disponibilidad de combustible generado el año anterior (Drury y Veblen 2008, Westerling et al. 2003). Esto indica que los incendios forestales no están solo sujetos a las condiciones de sequía en la temporada inmediata anterior al incendio o durante su ocurrencia. Estas relaciones de retraso son utilizadas por estos autores para evaluar la capacidad de predicción de los incendios forestales con meses o inclusive un año de antelación aportando herramientas útiles para una mejor prevención contra los incendios. En México se han realizado algunos estudios descriptivos de la variabilidad espacial y temporal del régimen de incendios forestales en los bosques de pino-encino de Durango (Fulé y Convington 1997, 1999, Heyerdahl y Alvarado 2003) y de pastos y matorrales espinosos de Baja California (Minnich 1983), pero en estos trabajos no se esclarece la forma en cómo influyen las características locales y regionales sobre el comportamiento de este régimen. Drury y Veblen (2008), encuentran que los incendios forestales en la Reserva forestal Las Bayas, en el estado de Durango, coinciden con la ocurrencia de años secos posteriores a años húmedos y seguidos de años de eventos El Niño, pero señalan que no encontraron correlaciones significativas entre ocurrencias de incendios y la Oscilación Decenal del Pacífico (ODP) o la Oscilación Multidecenal del Atlántico (OMA). Las relaciones de retraso mencionadas pueden ser de utilidad para evaluar la capacidad predictiva en la ocurrencia de incendios forestales. Los estudios realizados en los bosques de Durango aportan resultados útiles a este propósito. Cabe mencionar que las estadísticas de incendios forestales en Durango no muestran tendencias significativas ni en el número de incendios ocurridos entre 1970 y 2012 ni en la superficie afectada por los incendios (CONAFOR 2012, ver Fig. 3.2 y Tablas 3.5 y 3.6). Esto indica que es necesario extender las investigaciones realizadas por Druryy y Veblen (2003) y Westerling et al. (2003) a otros estados de la república, por ejemplo Chihuahua, Distrito Federal y Michoacán que muestran una marcada tendencia hacia el incremento en la ocurrencia de incendios forestales (Fig. 3.2). estadísticas de incendios forestales en Durango no muestran tendencias significativas ni en el número de incendios ocurridos entre 1970 y 2012 ni en la superficie afectada por los incendios (CONAFOR 2012, ver Fig. 3.2 y Tablas 3.5 y 3.6). Esto indica que es necesario extender las investigaciones realizadas por Drury y Veblen (2008) y Westerling et al. (2003) a otros estados de la república, por ejemplo Chihuahua, Distrito Federal y Michoacán que muestran una marcada tendencia hacia el incremento en la ocurrencia de incendios forestales (Fig. 3.2).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos (REDESClim) de CONACYT por el apoyo recibido para la realización de este capítulo a través del proyecto semilla PS9 "Rumbo a la creación de una base de datos atmosféricos e hidrológicos para México". Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroestes S.C. (CIBNOR), Unidad Sonora, Campus Guaymas por las facilidades otorgadas para ser miembro de REDESClim y por su apoyo a través del proyecto PC 0.3. A los revisores anónimos de este capítulo por sus comentarios y observaciones que enriquecieron su contenido.

Cómo citar este capítulo:

Brito-Castillo L. y A. Pedrozo-Acuña, 2015: Capítulo 3: Inundaciones, heladas e incendios forestales. En T. Cavazos (Ed.), Conviviendo con la Naturaleza: El problema de los desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos en México. REDESClim, México, Ediciones ILCSA, pp. 77-119.

REFERENCIAS

Ashley, S. T., and W. S. Ashley, 2006: Flood Fatalities in the United States. *J. Appl. Meteor. Climatol.,* **47**, 805–818. doi: http://dx.doi.org/10.1175/2007JAMC1611.1

Baldassarre, G.D., and S. Unlenbrook, 2011: Is the current flood of data enough? A treatise on research needs for the improvement of flood modeling. *Hydrological Processes.* DOI: 10.1002/hyp.8226

Bao, H.-J., L.–N. Zhao, Y. He, Z.-J. Li, F. Wetterhall, H. L. Cloke, F. Pappenberger, and D. Manful, 2011: Coupling ensemble weather predictions based on TIGGE database with Grid-Xinanjiang model for flood forecast. European Geosciences Union (EGU); *Journal of Hydrology,* **375**, 613–626.

Beven, K.J., 2006: A manifesto for the equifinality thesis. *Journal of Hydrology,* **320**, 18-36.

Bitrán Bitrán, D., 2001: Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el período 1980-99. Secretaría de Gobernación. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, Talleres gráficos de México, D.F., pp. 107, ISBN: 970-628-591-1

Bitrán Bitrán, D., M. Jiménez Espinosa, H. Eslava Morales, M. A. Salas Salinas, M. T. Vázquez Conde, L. G. Matías Ramírez, K. S. Camacho Quintana y L. A. Colsa, 2001: Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2000.Secretaría de Gobernación. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, Talleres gráficos de México, D.F., pp. 99, ISBN: 970-628-592-X.

Bitrán Bitrán, D., L. Acosta Colsa, H. Eslava Morales, C. Gutiérrez Martínez, M. A. Salas Salinas y M. T. Vázquez Conde, 2002: Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2001.Secretaría de Gobernación. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, Imagen y Arte Gráfica S.A. de C.V., México, D.F., pp. 102, ISBN: 970-628-629-2.

Bitrán Bitrán, D., L. Domínguez Morales, R. Durán Hernández, O. Fuentes Mariles, N. García Arróliga, M. Jiménez Espinosa, O. López Bátiz, L. G. Matías Ramírez, C. Reyes Salinas, M. A. Salas Salinas y O. Zepeda Ramos, 2003: Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2002.Secretaría de Gobernación. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, Imagen y Arte Gráfica S.A. de C.V., México, D.F., pp. 173, ISBN: 970-628-730-2.

Bitrán Bitrán, D., N. García Arróliga, R. Marín Cambrains y K. Méndez Estrada, 2005: Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2004.Secretaría de Gobernación. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, Consorcio Clauro S.A. de C.V., México, D.F., pp. 199, ISBN: 970-628-873-2.

Board on Natural Disasters, 1999: Mitigation emerges as major strategy for reducing losses caused by natural disasters. Review: Natural hazards and policy. *Science,* **284**, 1943.

Botello, A. V., S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez y J. L. Rojas Galavís, 2010: Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Gobierno del Estado de Tabasco. Universidad Autónoma de Campeche, México, 514 p.

Bouwer, L.M., R. P. Crompton, E. Faust, and P. Höppe, 2007: Confronting disaster losses. *Science,* **318**, 753.

Bowman, D.M.J.S., J. K. Balch, P. Artaxo, W. J. Bond, J. M. Carlson, M. A. Cochrane, C. M. D'Antonio, R. S. Defries, J. C. Doyle, S. P. Harrison, F. H. Johnston, J. E. Keeley, M. A. Krawchuk, Ch. A. Kull, J. B. Marston, M. A. Moritz, I. C. Prentice, Ch. I. Roos, A. C. Scott, T. W. Swetman, G. R. van der Werf, and S. J. Pyne, 2009: Fire in the earth system. *Science,* **324**, 481-484.

Bowman, D.M.J.S., J. A. O'Brien, and J. G. Goldammer, 2013: Pryrogeography and the global quest for sustainable fire management. *Annu. Rev. Environ. Resour.,* **38**, 57-80.

Brito-Castillo, L., M. A. Crimmins y S. C. Díaz, 2010: Clima. En: Molina-Freaner, F.E., y Van-Devender T.R. (Eds). Diversidad biológica de Sonora. UNAM, México, pp. 73-96. ISBN: 978-607-02-0427-2.

Brito-Castillo, L., S. C. Díaz, S.C., and R. S. Ulloa-Herrera, 2009: Observed tendencies in maximum and minimum temperatures in Zacatecas, Mexico and possible causes. *International Journal of Climatology,* **29**, 211-221.

Buizza, R., J. R. Bidlot, N. Wedi, M. Fuentes, M. Hamrud, G. Holt, and F. Vitart, 2007: The new ECMWF VAREPS (Variable Resolution Ensemble Prediction System). *Q. J. R. Meteorol. Soc.,* **133**, 681–695.

Cavazos, T., and S. Hastenrath, 1990: Convection and rainfall over Mexico and their modulation by the Southern Oscillation. *Journal of Climatology,* **10**, 377-386.

Cavazos, T. 1997: Downscaling large-scale circulation to local winter rainfall in north-eastern Mexico. *International Journal of Climatology,* **17**, 1069-1082.

Cavazos, T. 1999: Large-scale circulation anomalies conducive to extreme precipitation events and derivation of daily rainfall in northeastern Mexico and southeastern Texas. *Journal of Climate,* **12**, 1506-1523.

CENAPRED, 2004: Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2003. Secretaría de Gobernación. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, Imagen y Arte Gráfica S.A. de C.V., México, D.F., pp. 369, ISBN: 970-628-871-6.

CENAPRED, 2006: Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2005. Secretaría de Gobernación. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, D.F., pp. 490. ISBN: 970-628-901-1.

CENAPRED, 2007: Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2006. Secretaría de Gobernación. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, D.F., pp. 259. ISBN: 978-970-821-005-8.

CENAPRED, 2008: Tabasco: Características e Impacto Socioeconómico de las inundaciones provocadas a finales de Octubre y a comienzos de Noviembre de 2007 por el frente frío Número 4. Resumen. Secretaría de Gobernación, México.

CENAPRED, 2010: Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2009. Secretaría de Gobernación. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, D.F., pp. 258, ISBN: 978-607-7558-19-4.

Cloke, H. L., and F. Pappenberger, 2009: Ensemble flood forecasting: a review, *J. Hydrol.,* **375**, 613–626.

CENAPRED, 2012: Base de datos sobre declaratorias de emergencia de desastre y contingencia climatológica. Información y descarga libre en
http://atl.cenapred.unam.mx/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=48&Itemid=215 (Octubre de 2012), México.

Cohen, J. 2007: Drone spy plane helps fight California fires. *Science,* **318**, 727.

CONABIO, 2012: Comisión Nacional para el para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Información en la web http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/puntos_calor/doctos/puntos_calor.html (noviembre de 2012).

CONAFOR, 2008: Incendiosforestales. Serie fascículos. Comisión Nacional Forestal; Secretaría de Gobernación. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, D.F., pp 45. ISBN: 978-607-7558-10-1.

CONAFOR, 2012: Sistema Nacional de Información Forestal. Comisión Nacional Forestal. Reportes semanales de resultados de incendios forestales. La información se puede descargar de forma gratuita en: http://www.conafor.gob.mx/portal/ (octubre, 2012)

Committee on Floodplain Mapping Technologies, NRC, 2007: Elevation Data for Floodplain Mapping. National Academic Press.

Davolio, S., M. M. Miglietta, T. Diomede, C. Marsigli, A. Morgillo, and A. Moscatello, 2008: A meteo-hydrological prediction system based on multi-model approach for precipitation forecasting. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.,* **8**, 143–159.

DEFRA, 2005: Making space for water: Taking forward a new Government strategy for flood and coastal erosion risk management in England.

Demeritt, D., H. Cloke, F. Pappenberger, J. Thielenc, J. Bartholmesc, and M. E. Ramos, 2007: Ensemble predictions and perceptions of risk, uncertainty, and error in flood forecasting. *Environmental Hazards,* **7**, 115–127

Dietrich, J., S. Trepte, Y. Wang, A. H. Schumann, F. Voß, F. B. Hesser1, and M. Denhard, M. 2008: Combination of different types of ensembles for the adaptive simulation of probabilistic flood forecasts: hindcasts for the Mulde. 2002 extreme event. *Nonlin. Processes Geophys.,* **15,** 275–286, 2008

DOF, 2003: Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Gobernación, DECRETO por el que se expide la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y se reforman y adicionan la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal y la Ley de Premios, Estímulos y Recompensas Civiles, 25 de febrero de 2003, México.

DOF, 2005: Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Gobernación, 21 de febrero de 2005, México.

Douglas, A.V., and P. J. Englehart, 1999: The historic 1997-98 drought *in* Mexico. In Proceedings of the Twenty-Third Annual Climate Diagnostic and Prediction Workshop, NOAA, Miami Florida, pp. 26-29.

Droegemeier, K. K., J. D. Smith, S. Businger, C. Doswell III, J. Doyle, C. Duffy, E. Foufolia-Georgiou, T. Grazlano, L. D. James, V. Krajewski, M. LeMone, D. P. Lettenmaier, C. Mass, R. Pielke Sr., A. Ray, S. Rutledge, J. Schaake, and E. Zipser, E. 2000: Hydrological aspects of weather prediction and flood warnings: report of the ninth prospectus development team of the U.S. Weather Reasearh Program. *Bulletin of the American Meteorological Society,* **81(11)**, 2665-2680.

Drury, S.A., and T. T. Veblen, 2008: Spatial and temporal variability in fire occurrence within the Las Bayas Forestry Reserve, Durango, Mexico. *Plant Ecology,* **197**, 299-316, doi: 10.1007/s11258-007-9379-5.

Dutta, D., S. Herath, and K. Musiake, 2003: A mathematical model for flood loss estimation, *Journal of Hydrology,* **277**, 24–49.

Easterling, D., 2002: Recent changes in frost days and the frost-free season in the United States. *Bull. Amer. Meteor. Soc,* **83**(9), 1327-1332.

Englehart, P. J., and A. V. Douglas, 2004: Characterizing regional-scale variations in monthly and seasonal surface air temperature over Mexico. *International Journal of Climatology,* **24**, 1897-1909.

Enlehgart P. J., and Douglas, 2005: Changing behavior in the diurnal range of surface air temperature over Mexico. *Geophysical Research Letters,* **32**, L01701, Doi: 10.1029/2004GL021139.

EM-DAT, 2011: OFDA/CRED Base de datos Internacional de desastres (International DisasterDatabase), UniversiteCatholique de Louvain, Brussels, http://www.cred.be/emdat.

Falorni, G., V. Teles, E. R. Vivoni, R. L. Bras, and K. S. Amaratunga, 2005: Analysis and characterization of the vertical accuracy of digital elevation models from Shuttle Radar Topography Mission. *Journal of Geophysical Research – Earth,* **110**, F02005. DOI:10.1029/2003JF000113.

Fulé, P. Z., and W. W. Covington, 1997: Fire regimes and forest structure in the Sierra Madre Occidental, Durango, Mexico. *Acta Botanica Mexicana,* **41**, 43-79.

Fulé, P. Z., and W. W. Covington, 1999: Fire regime changes in the La Michilia Biosphere Reserve, Durango, Mexico. *Conserv. Biol.,* **13**, 640-652.

Frich, P. L., V. Alexander, P. Della-Marta, B. Gleason, M. Haylock, A. Kelin Tank, and T. Peterson, 2002: Global changes in climatic extremes during the 2nd half of the 20th century. *Climate Research,* **19**, 193-212.

García, A. N., R. Marín Cambranis y K. Méndez Estrada, 2009a: Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2007. Secretaría de Gobernación. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, D.F., pp. 624. ISBN: 978-607-7558-00-2.

García, A. N., R. Marín Cambranis y Méndez Estrada, 2009b: Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2008. Secretaría de Gobernación. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, D.F., pp. 368, ISBN: 978-607-7558-01-9.

García, A. N., R. Marín Cambranis, K. Méndez Estrada, y N. Troncoso Arriaga, 2012: Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2010. Secretaría de Gobernación. Centro Nacional de Prevención de Desastres, Reproscan S.A. de C.V., México, D.F., pp. 639. ISBN: 978-607-7558-25-5.

Hare, F. K., 1993: Climate variations, drought and desertification. World Meteorological Organization No. 653, pp. 45, ISBN: 92-63-12653-4.

Heino, R., 1999: Progress in the study of climate extremes in northern and central Europe. *Cimatic Change,* **42**, 151-181.

Heyerdahl, E. K., and E. Alvarado, 2003: Influence of climate and land use on historical surface fires in pine-oak forests, Sierra Madre Occidental, Mexico. *In*: Veblen T.T., Baker W.L. Montenegro G., Swetnam T.W. (eds.), Fire and climatic change in temperate ecosystems of the western Americas. Springer-Verlag, New York, pp. 196-217. ISBN: 978-0-387-95455-4.

IMEE, 2011: Infrastructure Management and Extreme Events (IMEE), National Science Foundation, USA, http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=13353

IPCC, 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, Eds., Cambridge University Press.

Jasper, K., J. Gurtz, and H. Lang, 2002: Advanced flood forecasting in Alpine watersheds by coupling meteorological observations and forecasts with a distributed hydrological model. *Journal of Hydrology,* Volume **267**, Issues 1–2, 1, 40-52, 10.1016/S0022-1694(02)00138-5.

Jones C. S., J. F. Shriver, and J. J. O'Brien, 1999: The effects of El Niño on rainfall and fire in Florida. Florida Geographer, 30: 55-69.

Korving, H., J. M. Van Noortwijk, P. H. A. J. M. Van Gelder, and F. H. L. R. Clemens, 2009: Risk-based design of sewer system rehabilitation. *Structure and Infrastructure Engineering,* **5(3)**, 215 – 227.

Magaña, V., J. L. Pérez, J. L. Vázquez, E. Carrisoza y J. Péerz, 2003: 2. El Niño y el clima. *En* V. O. Magaña (Ed.) Los impactos de El Niño en México. SEP-CONACYT, México, pp. 23-66.

MAP, The Mesoscale Alpine Programme 2009: Institute for Atmospheric and Climate Scien. http://www.map.meteoswiss.ch/map-doc/index.htm

Mascaro, G., E. R. Vivoni, and R. Deidda, 2010: Implications of Ensemble Quantitative Precipitation Forecast Errors on Distributed Streamflow Forecasting. *Journal of Hydrometeorology,* **11(1)**, 69-86.

Mason, D., D. M. Cobby, M. S. Horritt, and P. D. Bates, 2003: Floodplain friction parameterisation in two-dimensional river flood models using vegetation heights derived from airborne scanning laser altimetry. *Hydrological Processes,* **17**, 1711–1732.

Matías, R. L. G., O. A. Fuentes y F. García, 2007: Heladas. Series fascículos. Secretaría de Gobernación. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, D.F., pp. 34. ISBN: 978-970-821-003-4.

Michel-Kerjan, E., and H. Kunreuther, 2011: Redisigningfloodinsurance. *Science,* **333**, 408-409.

Minning, R. A. 1983: Fire mosaics in Southern California y Northern Baja California. *Science,* **219**, 1287-1294.

Obersteiner, M., C. Azar, S. Kossmeier, R. Mechler, K. Möllersten, S. Nilsson, P. Read, Y. Yamagata, and J. Yan, 2001: Managing climate risk. Interim report, International Institute for Applied System Analysis Schlossplatz 1, A-2361, Laxenberg Austria.

Pappenberger, F. et al., 2005: Cascading model uncertainty from medium range weather forecasts (10 days) through a rainfall–runoff model to flood inundation predictions within the European Flood Forecasting System (EFFS). *Hydrology and Earth System Sciences,* **9 (4)**, 381–393.

Pappenberger, F., and K. J. Beven, 2006: Ignorance is bliss: 7 reasons not to use uncertainty analysis. *Water Resources Research,* **42**, W05302, doi:10.1029/2005WR004820.

Pedrozo-Acuña, A. 2012: Inundaciones: Evaluación y manejo del riesgo. AGUA en Quintana Roo, Año 2, No.2, Enero-Marzo 2012. Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo.

Pedrozo-Acuña, A., I. Mariño-Tapia, C. Enriquez, G. Medellín-Mayoral y F. González-Villareal, 2012a: Evaluation of inundation areas resulting from the diversion of an extreme discharge towards the sea: A case study in Tabasco Mexico. *Hydrological Processes,* Wiley and Sons.

Pedrozo-Acuña, A., A. Ruiz de Alegría-Arzaburu, I. Mariño-Tapia, C. Enriquez y F. González-Villareal, 2012b: Factors controlling flooding at Tonala river mouth (Mexico). *Journal of Flood Risk Management,* Wiley and Sons.

Pedrozo-Acuña, A., J. P. Rodríguez-Rincón, M. Arganis-Juárez, R. Domínguez Mora y F. J. González-Villareal, 2013: Estimation of probabilistic flood inundation maps for an extreme event: Pánuco river, México, Journal of Flood Risk Management, Wiley and Sons.

Pinter, N., 2008. One step forward, two steps back on U.S. floodplains. *Science,* **308**, 207-208.

Qian B., X. Zhang, K. Chen, Y. Feng, and T. O'Brien, 2010: Observed long-term trends for agroclimatic conditions in Canada. *Journal of Applied Meteorology and Climatology,* **49**, 604-618.

Ratto, M., S. Tarantola, A. and Saltelli, 2001: Sensitivity analysis in model calibration: GSA-GLUE approach. *Computer Physics Communication,* **136**, 212–224.

Rauch, W., J.-L. Bertrand-Krajewski, P. Krebs, O. Mark, W. Schilling, M. Schütze, and P. A. Vanrolleghem, 2002: Deterministic modelling of integrated urban drainage systems. *Wat. Sci. & Tech.,* **45(3)**, 81-94.

Reeve, D. E., 2011: Risk and Reliability, CRC Press, ISBN-10: 0415467551, Taylor & Francis.

Reeve, D. E., J. M. Horrillo-Caraballo, and A. Pedrozo-Acuña, 2011: Handling Uncertainty in Coastal Modelling, in Flood Risk Science and Management (eds G. Pender and H. Faulkner), Wiley-Blackwell, Oxford, UK. doi: 10.1002/9781444324846.ch16

Rico-Ramirez, M. A., E. Gonzalez-Ramirez, I. Cluckie, and D. Han, 2009: Real-time monitoring of weather radar antenna pointing using digital terrain elevation and a Bayes clutter classifier. *Meteorological Applications,* **16 (2)**, pp. 227-236

Rodríguez-Rincón, J. P., A. Pedrozo-Acuña, R. Dominguez Mora, D. E. Reeve, and I. Cluckie, 2012: Probabilistic estimation of flood maps: An ensemble approach. *Flood Risk,* 2012. Rotterdam. P. B.

Romero-Centeno, R., J. Zavala-Hidalgo, A. Gallegos, and J. J. O´Brien, 2003: Notes and Correspondence, Isthmus of Tehuantepec wind climatology and ENSO signal. *J. Climate,* **16**, 2628-2639.

Sanders, B. F., 2007: Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling. *Advances in Water Resources,* **30**, 1831-1843.

Schultz, D. M., W. E.Bracken, and L. F. Bosart, 1998: Planetary- and Synoptic-Scale signatures associated with Central American cold surges. *Monthly Weather Review,* **126**, 5-27.

SEGOB, 2012: Secretaría de Gobernación. Fondo Nacional de Prevención de Desastres, información en http://www.proteccioncivil.gob.mx/en/ProteccionCivil/Fonden (octubre, 2012), México.

Simard, A. J., D. A. Haines, and W. A. Main, 1985: Relations between El Niño/Southern Oscillation anomalies and wildland fire activity in the United States. *Agric. For. Meteor.,* **36**, 93-104.

Sinha, T., K. A. Cherkauer, and V. Mishra, 2010: Impacts of historic climate variability on seasonal soil frost in the Midwestern United States. *Journal of Hydrometeorology,* **11**, 229-252.

Smith, D. K., 1989: Prevención de desastres naturales: el aporte de los servicios meteorológicos e hidrológicos. Organización Meteorológica Mundial No 722, Ginebra, Suiza, pp. 47, ISBN: 92-63-30722-9.

Spiegelhalter, D. J., and H. Riesch, 2011: Review article: Don't know, can't know: embracing deeper uncertainties when analysing risks. *Phil. Trans. R. Soc. A,* **369**, 4730-4750; doi:10.1098/rsta.2011.0163

Stirling, A., 2007: Risk, precaution and science: towards a more constructive policy debate. Talking point on the precautionary principle. EMBO Rep., **8**, 309–315. (doi:10.1038/sj.embor. 7400953)

Stone, R., N. Nicholls, and G. Hammer, 1996: Frost in Northest Australia: trends and influences of phases of the Southern Oscillation. *Journal of Climate,* **9**, 1896-1909.

Swetnam, T. W., and J. L. Betancourt, 1990: Fire-Southern Oscillation relations in the southwestern United States. *Science,* **249**, 1017-1020.

Tait A., and X. Zheng, 2003: Mapping frost occurrence using satellite data. *Journal of Applied Meteorology,* **42**, 193-203.

Terando A., W. E. Easterling, K. Keller, and D. R. Easterling, 2012: Observed and modeled 20th century spatial and temporal patterns of selected agro-climate indices in North America. *Journal of Climate,* **25**, 473-490.

Tereschenko, I. E., and A. E. Filonov, 2001: Air temperature fluctuation in Guadalajara, Mexico from 1926 to 1994 in relation to urban growth. *International Journal of Climatology,* **21**, 483-494.

UNEP, 2002: Spreading Like Wildfire—Tropical forest fires in Latin America and the Caribbean. Prevention, assessment and early warning. United Nations Environment Programme (produced by M.A. Cochrane), Panama.

van Asselt, M., and J. Rotmans, 2002: Uncertainty in integrated assessment modelling. *Climatic Change,* **54**, 75–105. (doi:10.1023/A:1015783803445)

Webster, P. J., and C. D. Hoyos, 2004: Prediction of monsoon rainfall and river discharge on 15–30 day time scales. *Bull. Am. Meteorol. Soc.,* **85 (11)**, 1745–1765. (doi:10.1175/BAMS-85-11-1745)

Weiss, J. L., and J. T. Overpeck, 2005: Is the Sonoran Desert losing its cool?. *Global Change Biology,* **11**, 2065-2077.

Westerling, A .L., A. Gershunov, T. J. Brown, D. R. Cayan, and M. D. Dettinger, 2003: Climate and wildfire in the western United States. *Bulletin of the American Meteorological Society,* **84(5)**, 595-604. Doi: 10.1175/BAMS-84-5-595.

Westerling, A. L., H. G. Hidalgo, D. R. Cayan, amd T. W. Swetnam, 2006. Warming and earlier spring increase western U.S. forest wildfire activity. *Science,* **313**, 940-943

WMO, 1992: International Meteorological Vocabulary. World Meteorological Organization, No. 182, Geneva, Switzerland, pp. 784. ISBN: 92-63-02182-1.

Wynne, B., 1992: Uncertainty and environmental learning: reconceiving science and policy in the preventive paradigm. *Global Environ. Change,* **2**, 111–127. doi:10.1016/0959-3780 (92) 90017-2.

CAPÍTULO 4

PLAN ESTRATÉGICO NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y LA REDUCCIÓN DEL RIESGO A DESASTRES ASOCIADOS A EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS Y CLIMÁTICOS EN MÉXICO

Propuesto por la Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos (REDESClim) de CONACYT

ROBERTO SÁNCHEZ RODRÍGUEZ[1], TEREZA CAVAZOS[2] Y AARÓN EDUARDO MORALES SANTOS[1]

[1] Colegio de la Frontera Norte

[2] Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C.

Chapter 4
National strategic plan for prevention and risk reduction of hydrometeorological and climatic-related disasters in Mexico

RESUMEN

La atención al riesgo de los desastres en México y en muchos otros países se ha centrado hasta ahora en un enfoque correctivo y no preventivo, por lo que hay una necesidad urgente de llevar a cabo estrategias y acciones de largo plazo para la prevención al riesgo de los desastres. El creciente número e importancia de los desastres asociados a eventos hidrometeorológicos y climáticos en México requiere de estrategias, políticas y acciones diseñadas por el conjunto de la sociedad que contribuyan a construir comunidades resilientes. La comunidad científica en México trabajando en este tema y agrupada en REDESClim, contribuye al desarrollo de una estrategia nacional para la prevención, manejo y gestión de los desastres hidrometeorológicos y climáticos. La estrategia que proponemos reconoce que México cuenta con recursos limitados para invertir en la prevención y reducción de desastres, la adaptación al cambio climático y en sus procesos de desarrollo. Es por ello que esta estrategia procura hacer coherentes las agendas de desarrollo, la prevención y la reducción de la vulnerabilidad al riesgo de desastres hidrometeorológicos y climáticos y propone la creación de respuestas al cambio climático.

ABSTRACT

The attention to disaster risk in Mexico and in many other countries have focused so far on a corrective rather than on a preventive approach; so, there is an urgent need to implement strategies and long-term actions to prevent the disaster risks. The growing number and importance of the hydrometeorological and climatic-related disasters in Mexico requires strategies, policies and actions designed by the whole society to help whole society to help building resilient communities. The scientific community in Mexico working on this issue and grouped in REDESClim contributes to the development of a national strategy for the prevention and management of hydrometeorological and climatic-related disasters. Our proposed strategy recognizes that Mexico has limited resources to invest in disaster prevention and risk reduction, adaptation to climate change, and development. That is why this strategy seeks to make consistent the agendas for development, prevention, and risk and vulnerability reduction to hydro-climatic disasters and proposes to create responses to climate change.

4.1. INTRODUCCIÓN

Los desastres asociados a eventos hidrometeorológicos y climáticos (HMyC) en México se han incrementado de manera significativa a partir de la década de los años noventa, como se explicó en el Capítulo 1 de este libro. Datos del Centro Nacional de Prevención de Desastres en México (CENAPRED) muestran que el 66 por ciento de los desastres en México estuvieron vinculados a tormentas tropicales e inundaciones entre 1970 y el 2011; 12 por ciento fueron causados por sismos y el 22 por ciento restante a otros eventos (OECD, 2013). Durante ese periodo el 76 por ciento de las pérdidas totales asociadas a esos desastres fue causado por tormentas e inundaciones y sólo el 17 por ciento por sismos. La distribución de las pérdidas varía de acuerdo al periodo analizado; sin embargo, en todos los casos, los desastres asociados a eventos HMyC dominan debido a su gran frecuencia año tras año. La importancia de los eventos HMyC también se refleja en la información de las declaratorias de emergencias registradas entre el 2001 y el 2011 en México. De las 315 declaratorias de emergencias emitidas para ese periodo, 183 fueron causadas por inundaciones, 57 por tormentas, 63 por otros peligros y 12 por sismos (OECD 2013).

México ha logrado avances significativos en su Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), en donde sobresalen la operación del CENAPRED, el Fondo Nacional para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN) y la reciente actualización del marco normativo con la Ley General de Protección Civil del 2012 y su reglamento del 2014; a pesar de estos avances para reducir el riesgo a los desastres, persiste la dificultad para entender de manera sistémica e integral los procesos generadores del riesgo a desastres, su caracterización, identificación de actores y la creación de estrategias de prevención. Por ello, la atención al riesgo de los desastres en México y en muchos otros países se ha centrado hasta ahora en corregir en lugar de prevenir (EIRD, 2008; ISDR, 2012; Khamis y Osorio, 2013). Un reporte reciente de la OECD (2013) y el diagnóstico del Programa Nacional de Protección Civil 2014-2018 detallan este aspecto en el caso del SINAPROC en México, como se mencionó en el primer capítulo del libro.

Los datos de la OECD (2013) destacan que mientras la inversión en prevención de desastres en México para el periodo 2005-2011 fue de $140 millones de dólares (un promedio de $20 millones por año), en ese mismo periodo se invirtieron $5,200 millones de dólares en la reconstrucción de los daños causados por desastres (un promedio de $742 millones de dólares por año). El desglose anual del presupuesto de egresos de la Federación para el Fondo Nacional de Desastres Naturales (FONDEN) y para el FOPREDEN durante 2007-2014 (Tabla 1. 2 de este libro) muestra proporciones entre el apoyo destinado a la reconstrucción y a la

prevención similares a los mencionados aquí; a pesar de las graves pérdidas sufridas como resultado del paso de los huracanes *Ingrid* y *Manuel* en septiembre de 2013, el apoyo para la prevención no aumentó significativamente en el 2014 (Tabla 1.2). Una de las conclusiones importantes del estudio de la OECD es la urgente necesidad de llevar a cabo estrategias y acciones de largo plazo para la prevención al riesgo de los desastres en México. Este capítulo es una contribución en este sentido.

La reducción del riesgo a desastres HMyC y la adaptación al cambio climático tienen muchos elementos en común. Ambos procuran disminuir los impactos de los eventos climáticos a través de la anticipación de los riesgos y las incertidumbres reduciendo la vulnerabilidad social, biológica y física a peligros dominantes y emergentes. Se espera que una parte significativa de los cambios climáticos se producirán al intensificarse la variabilidad climática (en particular durante la temporada de lluvias) y los eventos hidrometeorológicos extremos (por ejemplo, precipitación extrema, sequía y ondas de calor) (Mitchell et al. 2010).

Las lecciones aprendidas en los esfuerzos para reducir el riesgo de desastres asociados a eventos HMyC, reportadas en la literatura internacional, destacan la importancia de desarrollar estrategias, políticas y acciones diseñadas y puestas en práctica por el conjunto de la sociedad. La comunidad científica en México trabajando este tema y agrupada en REDESClim, contribuye al desarrollo de una estrategia nacional para la prevención, manejo y gestión de los desastres HMyC. Esta estrategia reconoce que México cuenta con recursos limitados para invertir en la prevención y reducción de desastres, la adaptación al cambio climático y en sus procesos de desarrollo. Es por ello que esta estrategia procura hacer coherentes las agendas de desarrollo, la prevención y la reducción de la vulnerabilidad al riesgo de desastres HMyC y propone mejorar y fortalecer el proceso de adaptación al cambio climático. Este es un enfoque sugerido recientemente por diversas agencias internacionales (OECD 2009, UNDP 2010, World Bank 2011, UN-Habitat 2011, EIRD 2012). De acuerdo a esta tendencia, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) inició en el 2012 un Programa de Modernización para una Mejor Adaptación al Cambio Climático (MOMET) y el Instituto Nacional de Ecología se transformó en el 2013 a Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). La estrategia nacional es entendida en este sentido no solo como una respuesta para resistir y sobreponerse a los impactos negativos de los eventos hidrometeorológicos, la variabilidad y el cambio climático sino también como una estrategia de desarrollo integral y con una visión de largo plazo.

El plan estratégico[1] que presentamos aquí es congruente con el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (PND); en particular apoya el Eje 1 ("México en Paz") y propone líneas de acción específicas que complementan las del Objetivo 1.6 del PND ("Salvaguardar a la población, a sus bienes y a su entorno ante un desastre de origen natural o humano"). También apoya al Eje 3 del PND ("México con Educación de Calidad") mediante algunas acciones para promover el conocimiento de los fenómenos naturales y

[1] *Este Plan Estratégico Nacional es una síntesis de un cúmulo de ideas y reflexiones de los participantes de la Segunda Reunión Estratégica de REDESClim realizada en agosto del 2013. Los autores reconocen esa valiosa contribución que hizo posible tener la opinión consensuada de la comunidad multidisciplinaria de REDESClim.*

sociales que se asocian a desastres y la transferencia de conocimiento y tecnología hacia los tomadores de decisiones y la sociedad en general para la prevención del riesgo de desastres. Además, el plan que se presenta también es consistente con la política nacional de protección civil a través del Programa Nacional de Protección Civil 2014-2018, la Ley General del Protección Civil, la política nacional de cambio climático propuesta en la Ley General de Cambio Climático, la Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40 (SEMARNAT 2013) y el programa MOMET del SMN.

Un Plan Estratégico Nacional que aborde el riesgo de los desastres asociados a fenómenos HMyC necesita fortalecer una gama de acciones a nivel nacional, estatal y municipal, que estén de acuerdo con la política internacional de reducción de riesgo en el Marco de Acción Hyogo pre y post 2015 (UNISDR 2013; ver Capítulo 1). Entre ellas destacan:

- *Mejorar y ampliar el monitoreo continuo y la calidad de los datos hidroclimáticos, atmosféricos, oceánicos biofísicos, geomorfológicos y socioeconómicos disponibles para la toma de decisiones,*
- *Aumentar la capacidad de predecir los fenómenos naturales con menos incertidumbre para mejorar las alertas tempranas,*
- *Entender las causas biofísicas y socioeconómicas asociadas al riesgo y la vulnerabilidad,*
- *Fortalecer y crear capacidades para mejorar la prevención y la reducción de los riesgos asociados a eventos HMyC y contribuir a la elaboración de políticas, programas y en la toma de decisiones.*

Una estrategia nacional requiere respuestas eficientes y realistas a través de una mayor coordinación entre los tres órdenes de gobierno y la participación del sector público, social, privado y científico. La estrategia promueve la aplicación transversal de una política nacional con lineamientos de corto, mediano y largo plazos. Los años de operación de REDESClim (desde el 2011; http://redesclim.org.mx) han permitido incrementar el conocimiento sobre fenómenos HMyC, así como de procesos sociales que son relevantes para entender las causas y el riesgo a los desastres. Una de las primeras tareas de REDESClim ha sido mejorar la información sobre este tipo de desastres. Las bases de datos del CENAPRED incluyen registros detallados sobre impactos socioeconómicos de los desastres desde el año 2000. Con el fin de contar con una serie de tiempo más larga se optó por actualizar la información de desastres de la base de DesInventar (1970-2011; http://www.desinventar.org/es/). Estas bases se construyen a partir de información hemerográfica y son fuentes alternativas de información histórica de los desastres HMyC en México. REDESClim ha avanzado también en la construcción de un sistema de información geográfica a nivel municipal a partir de las declaratorias de emergencia y desastres del FONDEN (2000-2011) y de información sociodemográfica relevante. En paralelo se están desarrollando o mejorando bases de datos hidroclimáticos diarios (a partir de 1950) que permiten la detección y diagnóstico espaciotemporal de algunos fenómenos, análisis de datos y visualización de eventos diarios, eventos extremos, ciclones tropicales, climatologías y escenarios de cambio climático en páginas de libre acceso (http://clicom-mex.cicese.mx/; http://clicom-mex.cicese.mx/ciclones; http://escenarios.inecc.gob.mx; http://atlasclimatico.unam.mx). Estas plataformas virtuales se han desarrollado en colaboración con varias instituciones académicas y con el SMN y el INECC.

REDESClim ha empezado también a trabajar en el planteamiento de un nuevo enfoque y marco conceptual que apoyará la toma de decisiones para prevenir, reducir y gestionar el riesgo ante dichos desastres.

Sin embargo, hay mucho por hacer en materia de conocimiento, prevención y reducción del riesgo a desastres en México. La estrategia que planteamos se basa en los siguientes ejes estratégicos:

1) Mejorar el entendimiento de las causas biofísicas y socioeconómicas del riesgo a desastres asociados a eventos HMyC en México a través de enfoques multidimensionales.

2) Desarrollar y fortalecer las capacidades de los tomadores de decisiones para prevenir y reducir el riesgo y la vulnerabilidad ante desastres asociados a eventos HMyC en el corto, mediano y largos plazos a través de políticas transversales de gestión.

3) Mejorar la comunicación con la sociedad para aumentar la capacidad de respuesta y la prevención de los desastres.

Estos ejes y sus líneas de acción son el resultado de la opinión consensuada de la red multidisciplinaria de REDESClim.

4.2. PLAN ESTRATÉGICO NACIONAL[2]

OBJETIVO GENERAL

PREVENCIÓN, REDUCCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO ANTE DESASTRES ASOCIADOS A EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS Y CLIMÁTICOS EN MÉXICO

4.2.1. EJE ESTRATÉGICO 1

Mejorar el monitoreo, la disponibilidad y calidad de datos y el entendimiento de las causas biofísicas y socio-económicas del riesgo a desastres asociados a eventos hidrometeorológicos y climáticos (HMyC) históricos, actuales y bajo condiciones de cambio climático en México.

México enfrenta obstáculos para mejorar su gestión integral del riesgo de desastres destacando entre ellos la falta de información de las causas biofísicas y socioeconómicas de dichos riesgos. A pesar de los esfuerzos realizados para mejorar la información disponible sobre las causas físicas que han precedido a los desastres durante las últimas décadas, persisten problemas de información fragmentada, poca coordinación entre las instituciones encargadas de la recolección de datos, dificultades en la sistematización de la información y en el libre acceso de los datos entre diversos usuarios. El caso de los datos HMyC, que en principio son coordinados a nivel nacional por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), ilustra este problema. Las estaciones meteorológicas existentes tienen problemas de continuidad temporal y espacial y no hay un control sistemático obligatorio de los datos recolectados. Además, hay una falta de

[2] *Este plan estratégico se refiere al estudio de desastres y riesgo a desastres asociados a eventos hidrometeorológicos y climáticos (HMyC) pasados, presentes y futuros, bajo condiciones actuales o de cambio climático. Para evitar repetición de términos, todas las acciones y estrategias propuestas se refieren al riesgo de desastres asociados a dichos eventos.*

coordinación entre las instituciones que colectan los datos lo que dificulta mejorar la cobertura y calidad de la información obtenida por las redes existentes.

Este plan estratégico nacional reconoce estos problemas y propone líneas de acción para ampliar y mejorar la cantidad de la información relacionada con eventos HMyC aprovechando la infraestructura y recursos ya existentes en el país. El plan establece también criterios para mejorar la sistematización de la información y facilitar el acceso virtual de los datos mediante diferentes productos que sean de utilidad para diversos usuarios.

El problema de información fragmentada o no disponible es más grave en el caso de las causas sociales del riesgo de desastres. La poca atención prestada a la creación de enfoques preventivos y de reducción de riesgo a desastres en México es particularmente evidente en los Planes Estatales de Acción ante el Cambio Climático (PEACCs) y en los Atlas Estatales y Municipales de Peligros o de Riesgos existentes hasta ahora en México. La metodología del CENAPRED (2006) para el cálculo de índices de vulnerabilidad social, agrícola y física que se utilizan en la elaboración de los atlas es un avance en este sentido, pero es recomendable su actualización aprovechando las pubicaciones nacionales e internacionales sobre este tema de los últimos años. El estudio de la vulnerabilidad social a los desastres en estos planes y atlas se limita a considerar algunos indicadores de la sensibilidad de la población local a sufrir daño por eventos HMyC pero no analiza las causas y procesos que dan origen a la vulnerabilidad a tales eventos ni sus posibles consecuencias. Los esfuerzos para prevenir y reducir el riesgo a desastres necesitan reconocer el carácter multidimensional y dinámico de la vulnerabilidad, por lo que se requiere una actualización periódica de los estudios y evaluaciones de los PEACCs y los atlas. Este plan estratégico nacional reconoce la necesidad de promover estudios multidimensionales de la vulnerabilidad a eventos HMyC históricos y futuros como un insumo importante para la construcción de políticas y acciones orientadas a prevenir y reducir el riesgo a desastres asociados a la variabilidad climática y para construir procesos de adaptación al cambio climático.

LÍNEA DE ACCIÓN 1.1.

Impulsar el monitoreo y la calidad de los datos HMy C.

Línea de acción 1.1.1: Fortalecer el monitoreo ambiental continuo y de largo plazo, en el continente y en los mares mexicanos, así como promover el control de calidad de los datos.

Línea de acción 1.1.1.1: Proponer instrumentación para el acopio y uso de información hidrometeorológica mediante sensores satelitales, aéreos y terrestres.

El diagnóstico de las bases de datos debe llevarse a cabo coordinando los esfuerzos de los órganos del sector público y la comunidad científica a través de expertos en monitoreo hidrometeorológico y climático. Su propósito es documentar quiénes, dónde y para qué (con qué eficiencia) se opera el equipo; en qué condiciones se encuentra el equipo; quiénes tienen los datos, en dónde y en qué formatos; cuántos datos hay, con qué frecuencia y qué variables se monitorean; y cuál es la disponibilidad y calidad de los datos.

Línea de acción 1.1.2: Promover el diseño y la construcción de sensores para instalarse en satélites mexicanos, tales como radares de apertura sintética, radiómetros y espectrómetros, con los que se contribuya a generar bases de datos para estudiar el clima y sus cambios.

Línea de acción 1.1.3: Impulsar un diagnóstico del estado actual del monitoreo hidrometeorológico y climático en México.

Línea de acción 1.1.4: Elaborar estudios de diagnóstico de la calidad de datos hidrológicos y climáticos existentes.

LÍNEA DE ACCIÓN 1.2.

Promover la creación de un Centro Nacional de Acopio de Datos y Diagnóstico Climático (CNADD) gestionando un consenso entre las instituciones que operan equipos de monitoreo y datos a nivel nacional y las instituciones que generan plataformas virtuales de información para apoyar estudios de diagnóstico, pronóstico y modelación del tiempo, del clima y el océano, así como el desarrollo y mejora de alertas tempranas.

Línea de acción 1.2.1: Diseñar y desarrollar, en coordinación con las autoridades federales e instituciones académicas relevantes, un programa inicial de trabajo de las líneas prioritarias para el CNADD.

Línea de acción 1.2.2: Promover el estudio estadístico y dinámico de los fenómenos HMyC que se asocian a mayores desastres en México y fomentar el desarrollo de diversas metodologías para generar productos automatizados como mapas regionales de alertas de diferentes eventos y variables atmosféricas que sirvan de apoyo dinámico en el uso de los atlas de peligro.

Algunas tareas iniciales del CNADD serían por ejemplo dar seguimiento a la captura, acopio, procesamiento, control de calidad, metadatos y distribución de información.

Línea de acción 1.2.3: Colaborar con los equipos de trabajo del Sistema de Alerta Temprana, que coordina el SINAPROC, y con el CENAPRED y el SMN para desarrollar alertas tempranas más certeras y oportunas de diferentes fenómenos, definir escalas de acción y establecer los lineamientos para normar su distribución pública.

Línea de acción 1.2.4: Colaborar con instituciones y redes que trabajan con tecnologías de la información y la comunicación (TICs) para desarrollar conjuntamente alertas tempranas automatizadas.

Línea de acción 1.2.5: Promover ante las instituciones operativas el uso de pronósticos probabilísticos para reducir y entender la incertidumbre de los pronósticos del tiempo y de las proyecciones de cambio climático.

Línea de acción 1.2.6: Fortalecer capacidades para entender y determinar la incertidumbre asociada a la predicción del tiempo, el clima y los escenarios de cambio climático a través de modelos dinámicos de mesoescala y *downscaling* (reescalamiento) dinámico regional, estudios de sensibilidad y análisis estadísticos.

Los productos del CNADD serían consultados en internet por agencias operativas tales como el SINAPROC, el CENAPRED y el SMN.

Línea de acción 1.2.7: Impulsar el estudio de las limitaciones físicas de los modelos (hidrológicos, atmosféricos y oceánicos) en su capacidad para pronosticar eventos extremos y ciclones tropicales.

Línea de acción 1.2.8: Diseñar y hacer operativo un programa multi-institucional para el estudio de la interacción entre procesos de pequeñas escalas con procesos de escalas mayores, y su influencia en la evolución del tiempo y el clima en México.

LÍNEA DE ACCIÓN 1.3.

Diseñar una estrategia de desarrollo tecnológico para la comunicación de la información climática en colaboración con las TICs.

Línea de acción 1.3.1: Apoyar el desarrollo de plataformas virtuales de mapeo, análisis y distribución de datos hidrológicos, climáticos y oceánicos (incluyendo datos de sensores remotos) para el diagnóstico del clima, eventos extremos, validación de modelos y mejoramiento de pronósticos.

Línea de acción 1.3.2: Proponer mecanismos, formatos e instituciones que almacenen y distribuyan vía página web dinámica información histórica y en tiempo real de simulaciones numéricas de diferentes variables ambientales y para diversas regiones del país, así como de escenarios de cambio climático. Esto podría ser a través del CNADD (línea de acción 1.2) o en colaboración con otras instituciones.

LÍNEA DE ACCIÓN 1.4.

Contribuir al monitoreo y análisis de las causas subyacentes de las vulnerabilidades a eventos HMyC.

Línea de acción 1.4.1: Mejorar el estudio y el pronóstico de las causas sociales, económicas, políticas, culturales, biológicas y físicas que inciden en el riesgo a desastres.

Línea de acción 1.4.1.1: Monitorear y evaluar el desarrollo poblacional, el deterioro ambiental, los cambios de uso del suelo y el estado y el riesgo de la infraestructura ante el posible impacto de diferentes fenómenos HMyC.

Línea de acción 1.4.1.2: Analizar el riesgo a desastre de los principales ecosistemas a nivel estatal y posteriormente a nivel municipal.

Línea de acción 1.4.1.3: Recopilar y/o generar bases de datos de variables biológicas, físicas, sociales y económicas a escala municipal relevantes para el estudio de las vulnerabilidades.

Línea de acción 1.4.2: Analizar las políticas públicas a nivel nacional, estatal y local que inciden en el riesgo a desastres.

Línea de acción 1.4.3: Evaluar el riesgo a desastres de las principales actividades productivas a nivel estatal y posteriormente a nivel municipal fomentando la interacción y colaboración con los miembros de los Planes Estatales y Municipales de Acción ante el Cambio Climático (PEACCs y PACMUN).

LÍNEA DE ACCIÓN 1.5.

Analizar la estructura y puesta en práctica de los marcos normativos para la gestión integral del riesgo de desastre a nivel nacional, estatal y municipal.

Línea de acción 1.5.1: Revisar y mejorar la estructura e implementación de los esquemas operativos para la gestión integral del riesgo de desastre a nivel nacional, estatal y municipal.

Línea de acción 1.5.2: Realizar un diagnóstico de las capacidades institucionales de los gobiernos estatales y municipales para la prevención y reducción de los desastres en México.

Línea de acción 1.5.3: Realizar diagnósticos de las oportunidades de participación de los sectores social, privado y académico en el diseño de políticas y acciones para la prevención y reducción de desastres y la adaptación al cambio climático a nivel estatal y municipal.

4.2.2. EJE ESTRATÉGICO 2

Desarrollar y fortalecer las capacidades de los tomadores de decisiones para prevenir y reducir el riesgo y la vulnerabilidad ante desastres asociados a eventos hidrometeorológicos y climáticos en el corto, mediano y largo plazos.

La evaluación del SINAPROC de México realizada por la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OECD 2013) reconoce los avances logrados hasta ahora en la atención a desastres pero resalta la necesidad de fortalecer la capacidad de acción de las autoridades estatales y municipales. El reporte de la OECD subraya en particular la necesidad de crear capacidades para trascender de la simple atención a desastres, a la gestión integral del riesgo de desastre.

La carencia de recursos técnicos, financieros, humanos, económicos y físicos en un significativo número de municipios en México es un obstáculo importante para mejorar su capacidad de acción en la prevención y reducción del riesgo a desastres. Estrategias y políticas orientadas a mejorar la coordinación entre los tres órdenes de gobiernos (federal, estatal y municipal) pueden fortalecer la capacidad de acción de los gobiernos y actores locales. Esta coordinación es esencial para producir información sobre las causas y las consecuencias de la vulnerabilidad y el riesgo a los desastres en los municipios.

La coordinación entre órdenes de gobierno es también importante para crear programas de capacitación entre la amplia gama de tomadores de decisiones a nivel local (sectores público, privado y social) que permita generar acciones de prevención y reducción del riesgo a desastres. Las lecciones aprendidas en otros países demuestran que invertir en la generación de conocimiento sobre la vulnerabilidad y el riesgo a desastres y la creación de capacidades entre actores locales genera beneficios en el corto, mediano y largo plazos (UNDP 2010, ISDR 2011).

LÍNEA DE ACCIÓN 2.1.

Mejorar el análisis de la vulnerabilidad a eventos HMyC históricos y bajo condiciones de cambio climático y fortalecer la difusión de los resultados entre los tomadores de decisión, con el fin de fortalecer su capacidad para formular políticas y acciones de prevención y reducción del riesgo a desastres.

Línea de acción 2.1.1: Diseñar e impartir talleres de capacitación a autoridades públicas y otros actores locales para el desarrollo de estrategias, políticas y acciones para la reducción de las vulnerabilidades a eventos HMyC y la adaptación al cambio climático a nivel estatal y municipal. La Escuela Nacional de Protección Civil (ENAPROC) es un precedente a nivel del gobierno federal que puede aprovecharse para apoyar el desarrollo de esquemas similares a nivel estatal y municipal.

Línea de acción 2.1.2: Promover la capacitación técnica en el manejo de información climática entre los tomadores de decisión mediante talleres de actualización de modelos, pronóstico, eventos extremos, fenómenos físicos estratégicos, escenarios de cambios climáticos y análisis de la incertidumbre.

Línea de acción 2.1.3: Crear esquemas operativos transversales en apoyo al diseño y puesta en práctica de planes y acciones para la prevención del riesgo de desastres y la reducción de la vulnerabilidad y la adaptación a la variabilidad y el cambio climático, en particular entre los gobiernos estatales y los municipales.

Línea de acción 2.1.4: Crear esquemas operativos para mejorar la coordinación entre órdenes de gobierno (federal, estatal y municipal) en la puesta en práctica de planes y acciones para la prevención del riesgo de desastres, la reducción de la vulnerabilidad y la adaptación a la variabilidad y el cambio climático.

Línea de acción 2.1.5: Impulsar el desarrollo de capacidades con enfoques transdisciplinarios mediante talleres de eventos extremos, talleres de vulnerabilidad, adaptación y resiliencia a nivel estatal y municipal.

Línea de acción 2.1.6: Mejorar y expandir el uso de esquemas inclusivos en el diseño e implementación de los planes y acciones para ampliar y fortalecer la participación de otros actores sociales.

Línea de acción 2.1.7: Crear agendas transdisciplinarias y transversales para fortalecer la capacitación técnica de los actores sociales en la prevención del riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático.

Línea de acción 2.1.8: Desarrollar, actualizar y revisar continuamente las guías metodológicas para el diagnóstico de la vulnerabilidad a eventos hidrometeorológicos, climáticos y la adaptación al cambio climático a nivel municipal y estatal.

Línea de acción 2.1.9: Fomentar la coherencia entre las políticas de crecimiento económico y de desarrollo social con las estrategias, planes y acciones para la gestión integral del riesgo de desastre, la reducción de la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático.

LÍNEA DE ACCIÓN 2.2.

Formar un comité multiinstitucional que coordine intereses comunes y contribuciones individuales para la generación, mejora y difusión de pronósticos atmosféricos y oceánicos de corto y mediano plazos, avisos de alerta temprana y talleres para usuarios.

LÍNEA DE ACCIÓN 2.3.

Fortalecer la colaboración entre la comunidad científica y los órdenes de gobierno (federal, estatal y municipal) e instituciones afines, relevantes a la gestión integral del riesgo de desastres asociados a la variabilidad y el cambio climático.

Línea de acción 2.3.1: Promover la colaboración entre la comunidad científica y los tomadores de decisión, en particular a nivel estatal y municipal, con el fin de fortalecer la capacidad de acción de esos órdenes de gobierno.

Línea de acción 2.3.2: Crear mecanismos de coordinación para incorporar los resultados de los diagnósticos del riesgo a desastres asociados a eventos HMyC y la vulnerabilidad al cambio climático en el diseño de políticas y proyectos de desarrollo a nivel federal, estatal y municipal.

Línea de acción 2.3.3: Fomentar el estudio de las causas y de las acciones necesarias para la prevención y la gestión de los riesgos a desastres en diferentes programas de licenciatura y posgrado a nivel nacional, dando mayor énfasis a las zonas con mayores riesgos.

Línea de acción 2.3.4: Promover la construcción de programas de comunidades resilientes a nivel municipal incluyentes de los actores locales y coherentes con las políticas nacionales, la Estrategia de Naciones Unidas para la Reducción de Desastres y el Marco Hyogo pre y post 2015.

LÍNEA DE ACCIÓN 2.4.

Crear y poner en práctica el seguimiento y la evaluación periódica de las estrategias, planes y acciones orientados a la prevención de desastres, la reducción de la vulnerabilidad y la adaptación a la variabilidad y el cambio climático en los tres órdenes de gobierno.

Línea de acción 2.4.1: Definir los indicadores para el seguimiento y la evaluación de las estrategias a través de la colaboración entre los tomadores de decisión, la comunidad científica y otros actores sociales, así como la estrategia para su puesta en práctica.

La anticipación y la prevención tendrán un efecto directo en la mejoría de la respuesta de las dependencias federales involucradas en la protección de la población, sus bienes y la infraestructura estratégica, como la red de energía eléctrica y las vías de comunicación terrestre.

LÍNEA DE ACCIÓN 2.5.

Promover la visión de largo plazo en los programas de prevención de los desastres, la reducción de la vulnerabilidad y la adaptación a la variabilidad y el cambio climático en coherencia con los planes federales, estatales y municipales de desarrollo.

4.2.3. EJE ESTRATÉGICO 3

Mejorar la comunicación con la sociedad para optimizar la capacidad de respuesta y la prevención de los desastres.

La gestión integral del riesgo de desastre, incluyendo su prevención y reducción, no puede ser solo responsabilidad de los gobiernos nacionales, estatales y municipales y requiere de una amplia participación de la sociedad. Una sociedad con capacidad de acción es una sociedad informada.

La experiencia en diversos países con resultados positivos en la reducción del riesgo a desastres resalta la importancia de una comunicación oportuna, eficaz y constante sobre el riesgo a desastres (ISDR 2011). La comunicación del riesgo a desastres y las acciones de prevención y respuesta por parte de la sociedad pueden llevarse a cabo a través de una amplia gama de medios de comunicación masiva. Es de gran importancia crear acciones eficaces de comunicación y difusión, en particular a nivel local.

LÍNEA DE ACCIÓN 3.1.

Fomentar la creación de un centro de visualización interactiva de datos para diagnóstico, pronóstico y toma de decisiones para la gestión integral del riesgo de desastre.

LÍNEA DE ACCIÓN 3.2.

Desarrollar programas de información sobre riesgo y vulnerabilidad a eventos hidrometeorológicos, climáticos y sobre el cambio climático a nivel estatal y municipal.

La difusión se deberá coordinar con los tomadores de decisión, la comunidad científica, actores sociales y los diversos medios de comunicación (radio, televisión,

Línea de acción 3.2.1: Realizar diagnósticos multidimensionales y transdisciplinarios de los problemas en la comunicación de riesgos hidrometeorológicos, climáticos y del cambio climático a nivel nacional, estatal y municipal.

Línea de acción 3.2.2: Realizar talleres de capacitación con los medios de comunicación para mejorar la comunicación y la difusión de los riesgos a desastres y de los planes para reducir la vulnerabilidad y para impulsar la adaptación al cambio climático.

LÍNEA DE ACCIÓN 3.3.

Promover la difusión de la información sobre riesgos de desastres, alertas tempranas y cambio climático en diferentes formatos adecuados para los diferentes sectores de la sociedad.

Línea de acción 3.3.1: Crear sistemas y programas de comunicación locales con la finalidad de que la información fluya de manera eficaz (radio local, televisión, obras de teatro, folletos de divulgación, redes sociales y otros medios de difusión masiva).

Línea de acción 3.3.2: Involucrar a los instructores comunitarios, maestros y académicos en la prevención y reducción de los desastres en coordinación con protección civil local.

LÍNEA DE ACCIÓN 3.4.

Crear programas educativos sobre los peligros naturales, la vulnerabilidad a eventos hidrometeorológicos, climáticos y el cambio climático a nivel estatal y municipal.

Línea de acción 3.4.1: Promover ante la Secretaría de Educación Pública que en los libros de texto de educación básica se incluya información sobre los peligros naturales, la prevención y reducción del riesgo de desastres, alertas tempranas y la adaptación al cambio climático y que en el proceso de enseñanza se analicen ejemplos y tareas con casos locales.

4.3. AGENDA DE REDESClim

Fortalecimiento, permanencia y proyección de REDESClim a nivel nacional e internacional.

REDESClim es una red de investigación multidisciplinaria sobre desastres asociados a eventos HMyC en México con la participación de miembros del sector académico y el sector público. El trabajo multidimensional de la red facilita la creación de enfoques integrados que apoyan la creación de estrategias, políticas y acciones para la prevención, reducción y gestión de los desastres. Es importante ampliar la coordinación y cooperación entre el sector académico y el público para mejorar el conocimiento de los desastres y su gestión integral. Este es un paso necesario para fortalecer la capacidad de respuesta de los gobiernos a nivel federal, estatal y municipal y la sociedad en general a los impactos negativos de los desastres y mejorar la resiliencia de la sociedad mexicana a tales eventos. En esta sección se presentan algunas líneas de acción que podrían facilitar el trabajo actual y futuro de REDESClim y ayudarían a impulsar e implementar el plan estratégico nacional propuesto en las secciones anteriores.

LÍNEA DE ACCIÓN 4.1.

Fortalecer la imagen institucional de REDESClim.

Línea de acción 4.1.1: Definir la personalidad jurídica de la red.

Línea de acción 4.1.2: Fomentar la creación de comisiones de trabajo al interior de la red (estructura orgánica).

Línea de acción 4.1.3: Construir programas para el seguimiento y evaluación constante del funcionamiento de la Red.

Línea de acción 4.1.4: Fortalecer la vinculación de la red con el sector público, con otras redes de CONACYT y con redes internacionales, y con la sociedad civil organizada.

Línea de acción 4.1.5: Promover la visibilidad de REDESClim en medios de comunicación, en publicaciones de los miembros y en congresos nacionales e internacionales.

LÍNEA DE ACCIÓN 4.2.

Promover la representación de REDESClim en comités técnicos y evaluadores de los gobiernos federal, estatal y municipal (SINAPROC, CENAPRED, CONAGUA, SMN, SEMARNAT, INECC, INEGI, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, CONAFOR, Foro Consultivo de Ciencia y Tecnología, PEACCs, PACMUNs y Consejos de Cuencas) en temas relacionados con riesgos a desastres asociados a eventos HMyC y al cambio climático.

LÍNEA DE ACCIÓN 4.3.

Fortalecer, mejorar y comunicar el conocimiento sobre el riesgo asociado a eventos HMyC y al cambio climático.

Línea de acción 4.3.1: Crear un comité de divulgación científica (ver línea de acción 4.1.2) que se encargue de informar oportunamente a la sociedad sobre temas de interés y de actualidad.

Línea de acción 4.3.2: Fomentar una participación más activa y oportuna de los miembros de REDESClim durante eventos de desastre en el país para generar una corriente de opinión con base en el conocimiento.

Línea de acción 4.3.3: Promover la organización de congresos nacionales e internacionales con temas afines a REDESClim y realizar ciclos de conferencias virtuales (webinarios) sobre los peligros naturales, la vulnerabilidad a eventos climáticos y la comunicación del riesgo.

LÍNEA DE ACCIÓN 4.4.

Contribuir al fortalecimiento de la organización social como un mecanismo de prevención y reducción de desastres.

LÍNEA DE ACCIÓN 4.5.

Gestionar financiamiento a través de proyectos grupales de gran alcance.

Línea de acción 4.5.1: Promover ante el CONACYT que se reconozca el trabajo de los integrantes de REDESClim (y de otras Redes similares) en tareas operativas y de vinculación con el sector público y con actores sociales en actividades tendientes a reducir el riesgo ante los desastres.

Línea de acción 4.5.2: Fomentar el desarrollo de proyectos transversales y multidisciplinarios de gran alcance para reducir el riesgo de desastres HMyC en México.

Línea de acción 4.5.3: Promover y buscar fondos nacionales e internacionales para llevar a cabo el Plan Estratégico Nacional en colaboración con las instituciones académicas y operativas y con otras redes.

4.4. CONCLUSIÓN

CONSTRUCCIÓN DE UN MÉXICO RESILIENTE A LOS DESASTRES

Los eventos hidrometeorológicos y climáticos (HMyC) han tenido un creciente costo económico, ambiental y sobre todo social durante las últimas décadas en México. Por ello el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 reconoce la gestión de los desastres como un tema prioritario para el desarrollo del país. El Plan Estratégico Nacional para la Prevención y Reducción del Riesgo a los Desastres Hidrometeorológicos y Climáticos propuesto aquí por REDESClim busca contribuir a la creación de una sociedad resiliente a los desastres en México. El plan enfatiza que para lograr este objetivo se requiere de la participación coordinada de los sectores público, privado, académico y social. La responsabilidad de coordinar las políticas, estrategias y acciones para prevenir, reducir y gestionar los desastres recae en la Secretaría de Gobernación a través del Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) en coordinación con el CENAPRED y otros sectores públicos, en particular la CONAGUA y el SMN. Sin embargo, los recursos disponibles en el sector público para desarrollar todas las dimensiones de la gestión de los desastres no son suficientes para cubrir los rezagos acumulados y las necesidades actuales y futuras sobre este tema en México. Los tres ejes estratégicos de este plan establecen un marco multidimensional para facilitar la colaboración entre sectores e instituciones. Se identifican las áreas de atención prioritarias en el corto y mediano plazos. La gama de acciones en el plan va desde aquellas esenciales para mejorar el conocimiento actual de las causas biofísicas y socioeconómicas de los desastres, hasta los pasos necesarios para la creación de enfoques operativos e inclusivos de la diversidad de actores que participan en la gestión de los desastres.

El objetivo de este plan estratégico es fungir como un primer marco operativo que permita crear un proceso de aprendizaje en la gestión de los desastres. Se destaca la necesidad de actualizar periódicamente el plan para tomar en cuenta los avances en el conocimiento de los desastres, los cambios en su frecuencia, intensidad y localización, y los cambios en la capacidad de la sociedad para prevenirlos y reducir sus costos sociales, económicos y ambientales. Es importante subrayar que la construcción de un México resiliente a los desastres es un proceso que requiere ajustes continuos en el tiempo y en el espacio. Este enfoque dinámico es necesario para contar con una estrategia eficaz en la gestión integral del riesgo de desastre por eventos HMyC y al mismo tiempo construir una mejor capacidad de respuesta al cambio climático en México.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los miembros de REDESClim e invitados de diferentes sectores e instituciones, por las discusiones y aportaciones que nos dieron para el desarrollo de este plan estratégico nacional. También agradecemos particularmente a la Dra. Lourdes Romo, al Dr. Martín Jiménez, a la Dra. Cecilia Conde y a Jorge Blanco por sus acertadas sugerencias y comentarios a la versión preliminar de este documento, los cuales enriquecieron la visión del mismo.

Cómo citar este capítulo:

Sánchez Rodríguez, R., T. Cavazos y A. E. Morales Santos, 2015: Capítulo 4: Plan estratégico nacional para la prevención y la reducción del riesgo a desastres asociados a eventos hidrometeorológicos y climáticos en México. En T. Cavazos (Ed.), Conviviendo con la Naturaleza: El Problema de los desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos en México. REDESClim, México, Ediciones ILCSA, pp.121-143.

REFERENCIAS

CENAPRED, 2006: Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social. México, D.F.

EIRD, 2008: Plataforma temática en riesgo urbano y otros entornos municipales en América Latina y el Caribe. Documento técnico de referencia. Bogotá, Colombia. Estrategia Internacional de Naciones Unidas para la Reducción de Desastres.

ISDR, 2011: Hyogo Framework for Action 2005-2015. Building the resilience of nations and communities to disasters. Mid- term review 2010-2011. Geneva, Switzerland. The United Nations Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction (ISDR).

Khamis, M. y C. Osorio, 2013: América del Sur: Una visión regional de la situación de riesgo de desastres. Estrategia Internacional de Naciones Unidas para la Reducción de Desastres y Comisión Europea. Ginebra, Suiza. Mitchell, T., M. van Aalst, and P. Villanueva, 2010: Assessing Progress on Integrating Disaster Risk Reduction and Climate

Change Adaptation in Development Processes. Strengthening Climate Resilience Discussion Paper 2. Strengthening Climate Resilience. International Institute of Development Studies. UK.

OECD, 2009: Policy Guidance on Integrating Climate Change Adaptation into Development Co-operation. 28-29. Paris, OECD.

OECD, 2013: OECD Reviews of Risk Management Policies: Mexico 2013. Review of the Mexican Civil Protection System.
Paris, OECD.

SEMARNAT, 2013: Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40. Primera Edición, SEMARNAT, México, 64 pp.

UNDP, 2010: Designing Climate Change Adaptation Initiatives. A UNDP Toolkit for Practitioners. New York. United Nations Development Programme. UN HABITAT, 2011: Planning for Climate Change. A Strategic Values Based Approach for Urban Planners. Version 1: for field testing and piloting in training. United Nations Human Settlements Programme. World Bank, 2011: Guide to Climate Change Adaptation in Cities. The World Bank. Washington, D.C.

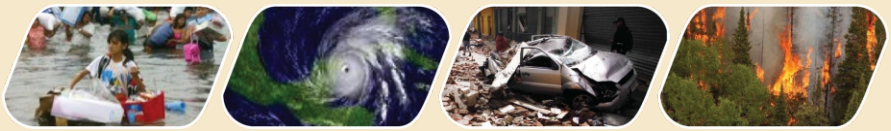
ILCSA
ediciones

Conviviendo con la Naturaleza

Se Terminó de imprimir en agosto 2015
en los Talleres Gráficos de Ediciones ILCSA S.A. de C.V.,
Calzada Tecnológico 909, Otay Universidad,
Tijuana, Baja California, México.
edicionesilcsa@hotmail.com
Tel: (664) 607.1992
Esta edición consta de 1,200 ejemplares

Tereza Cavazos es Investigadora Titular del Departamento de Oceanografía Física del CICESE, en Ensenada, Baja California, desde 2001 y nivel II del Sistema Nacional de Investigadores desde el 2010. Antes de incorporarse al CICESE trabajó en la Universidad Autónoma de Nuevo León (1983-1993), en la Universidad del Estado de Pennsylvania (1997-1998), en la Universidad de Ciudad del Cabo en Sudáfrica (1998-1999) y en la Universidad de Arizona (1999-2001), dando clases y realizando investigación sobre variabilidad y cambio climático, eventos extremos, El Niño y el monzón. Ha sido miembro de varios comités nacionales e internacionales que investigan la variabilidad de los monzones y el cambio climático en América del Norte. Formó parte del comité técnico del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Baja California. Fue la coordinadora del International Award Committee de la American Geophysical Union (2013-2014) y la representante fundadora de la Red Temática de CONACYT sobre Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos (REDESClim, 2009-2014). Es miembro de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC) y de los comités editoriales de *Annual Review of Environment and Resources* (2013-2017), Atmósfera (2009-) y Geofísica Internacional (2014-2015). Tiene una Licenciatura en Física de la Universidad Autónoma de Nuevo León, una Maestría en Meteorología de la Universidad de Wisconsin-Madison y un Doctorado en Geografía por la Universidad del Estado de Pennsylvania. Actualmente es la Presidenta de la Unión Geofísica Mexicana (UGM, 2014-2015).

http://usuario.cicese.mx/~tcavazos/



La importancia de los desastres asociados a eventos hidrometeorológicos y climáticos en México se refleja en el constante incremento en el número de emergencias declaradas, el número de personas afectadas y en la inversión realizada para atenderlas. El gran reto para nuestro país es trascender de un enfoque reactivo que ha predominado en los esquemas operativos de atención a desastres, a uno preventivo que reduzca el número de desastres y sus consecuencias sociales, económicas y ambientales. Aprender a convivir con la naturaleza es una tarea impostergable para el presente y futuro desarrollo de México.

Este libro es una contribución de la Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos (REDESClim) del programa de Redes Temáticas del CONACYT. REDESClim procura mejorar el conocimiento y la capacidad de respuesta de México ante los desastres asociados a esos fenómenos. El libro presenta una perspectiva científica sobre el estado del arte del conocimiento de varios peligros naturales estratégicos - ciclones tropicales, inundaciones, sequías, heladas e incendios forestales - que año tras año se asocian con desastres en México. Se describen las causas físicas y sociales de tales eventos y se propone un plan estratégico para la prevención, gestión y adaptación para reducir la vulnerabilidad y el riesgo de desastre de la población y los ecosistemas.

ISBN: 978-607-8360-39-0