



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ACATLÁN**

**ANÁLISIS DE UNA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL  
RIESGO POR FENÓMENOS NATURALES CON UNA APLICACIÓN  
ACTUARIAL**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**A C T U A R I O**

P R E S E N T A :

**DAVID RICARDO MENDOZA ESTRADA**

ASESOR DE TESIS: VICTOR MANUEL ULLOA ARELLANO

2008





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **Agradecimientos**

A Dios, por ser la razón de mi existencia.

A mis padres: Justino Mendoza Lira y Rosalía Estrada Hernández.

A mis hermanos: Estrella, Susana, Emmanuel y Andrea.

A mis cuñados: Víctor y Benjamín.

Gracias por su amor.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, porque en sus aulas me forme como actuario y pasé años magníficos como estudiante.

A mis amigos de la Facultad, por las largas horas de estudio que pasamos juntos, además de la amistad y el apoyo; no los menciono por que no quiero omitir a alguno.

A mis profesores de la Facultad, por enseñarme la ciencia y el arte actuarial.

A mi asesor, el M. C. Víctor Manuel Ulloa Arellano; por apoyarme en este trabajo.

A mis sinodales, Fis. Mat. Jorge Luis Suárez Madariaga, Mtra. Maria del Carmen González Videgaray, Lic. Juan Carlos Luna Díaz, y Lic. Andrés Arellano Aguilar; gracias por las observaciones y correcciones para culminar este proyecto.

A mis amigos del área de Riesgos Hidrometeorológicos del Centro Nacional de Prevención de Desastres: Dr. Martín Jiménez Espinosa, Dr. Oscar Fuentes Mariles, M. I. Marco Antonio Salas Salinas, M. I. Héctor Eslava Morales, M. G. Lucia Guadalupe Matías Ramírez, y M. I. Carlos Baeza Ramírez; gracias por su apoyo y ejemplo para realizar esta Tesis.

A mis amigos del área de Estudios Económicos y Sociales del Centro Nacional de Prevención de Desastres: Lic. Norlang García Arróliga, Lic. Rafael Marín Cambranís, y Karla Méndez Estrada; gracias por su compañerismo.

Dedico esta obra a todos aquellos que han sufrido a causa de los ciclones tropicales y las inundaciones en México.

# Índice

Introducción .....	4
Capítulo 1: Desastres por fenómenos naturales .....	6
1.1. Qué es un fenómeno natural.....	7
1.2 Tipos de fenómenos naturales.....	7
1.3 Desastres por fenómenos naturales.....	16
Capítulo 2: Riesgo por fenómenos naturales .....	26
2.1. Riesgo en general.....	26
2.2. Clasificación del riesgo .....	27
2.3. Análisis de riesgos .....	30
2.4. Definición del riesgo por fenómenos naturales .....	31
2.5. Factores del riesgo por fenómenos naturales .....	32
2.6. Evaluación del riesgo .....	35
Capítulo 3: Evaluación del riesgo por inundaciones.....	49
3.1 Efectos y amenazas .....	49
3.2 Causas de las inundaciones.....	52
3.3 Medición .....	54
3.4 Peligro .....	56
3.5 La vulnerabilidad .....	65
3.6 Riesgo .....	70
Capítulo 4: La prima pura de riesgo por inundación para una región en específica.....	72
4.1 Antecedentes: Seguros por riesgos catastróficos en México .....	72
4.2 Determinación de la prima pura del riesgo de inundación .....	76
Conclusiones .....	80
Anexo I.....	83
Anexo II .....	92
Anexo III.....	98
Bibliografía .....	101
Libros .....	101
Artículos.....	103
En Internet.....	103

## Introducción

Hablar de desastres naturales es interesante porque son eventos que pueden transformar la vida de una sociedad en segundos. Son eventos desafortunados que en los últimos años han cobrado más fuerza debido en gran manera a la falta de planeación en el establecimiento de asentamientos humanos. Se han realizado cintas cinematográficas relacionadas a fenómenos naturales que ocasionan catástrofes: “San Francisco” (1936), “Avalancha” (1978), “Terremoto” (1974), “Tornado” (1996), “Volcano” (1997), “Dante's Peak” (1997), “Hard Rain” (1998), “La tormenta perfecta” (2000), “El núcleo” (2003), y “El día después de mañana” (2004). Todas las cintas anteriores narran historias relacionadas a fenómenos perturbadores, sin embargo, no siempre muestran la realidad de los desastres, pero cabe destacar que han servido para generar conciencia en la población acerca de la ocurrencia de fenómenos capaces de afectar su entorno de manera significativa.

Gracias a que ciertas teorías relacionadas con el calentamiento global presuponen la ocurrencia de más desastres por esta causa, resultará de interés conocer cómo suceden estos eventos y cuáles son sus posibles causas. Cabe destacar que esta tesis no toca el tema del calentamiento global en ninguno de sus capítulos, de hecho el autor considera que aún hacen falta varios elementos para afirmar que el calentamiento global y los desastres por fenómenos naturales tienen una correlación significativa.

Por lo mencionado en los párrafos anteriores y por muchas razones más, los desastres naturales son eventos que deberían prevenirse al máximo. Es por eso que el conocimiento científico de los fenómenos perturbadores de origen natural, como el estudio de la sociedad misma, deben de ser factores a consideración para todo aquel que busque mitigar estos sucesos desafortunados. Conocer las zonas de riesgo, es decir, las zonas en las que se sabe que hay ocurrencia de fenómenos naturales y en las que además existen intereses humanos capaces de ser afectados, es vital para minimizar el impacto de estos eventos.

Esta tesis realiza la exposición, el análisis y la aplicación actuarial de una metodología para la evaluación del riesgo usada en el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENPARED) de México.

En el primer capítulo se explica el concepto de Desastre por Fenómenos Naturales, sus características principales, causas, clasificación, y la recopilación de datos acerca de estos sucesos por parte de algunos gobiernos, centros de investigación, e instituciones no gubernamentales. Se da una breve explicación de los diferentes tipos de fenómenos naturales y su forma de medición.

En el capítulo segundo se expone al riesgo en general: definición, clasificación, características. Continúa con la definición de Riesgo por Fenómenos Naturales mostrando sus componentes: un expuesto, peligro, vulnerabilidad. Se desarrolla un ejemplo de la evaluación del riesgo aplicado a ciclones tropicales en Mazatlán, Sinaloa, donde el bien expuesto es una vivienda con ciertas características. Se hace mención de la generación y utilidad de mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo.

El tercer capítulo se especializa en inundaciones. Se estudian sus características, desde la forma en que pueden darse hasta la forma en que se mide este fenómeno. Se muestra la metodología para evaluar el peligro, vulnerabilidad y riesgo. También se mencionan algunos datos acerca de los impactos que han ocasionado en la sociedad, tanto en México como en el mundo. Por último se da un ejemplo de la evaluación del riesgo.

En el capítulo cuarto, se realiza una simulación aleatoria de las pérdidas por inundaciones, se muestran los resultados y con base en éstos, se propone la prima neta para una cobertura por inundación en la localidad de Santa María Jajalpa en el municipio de Tenango del Valle, Estado de México. Todo lo anterior se realiza tomando los estudios realizados por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) el año 2006 en dicha zona.

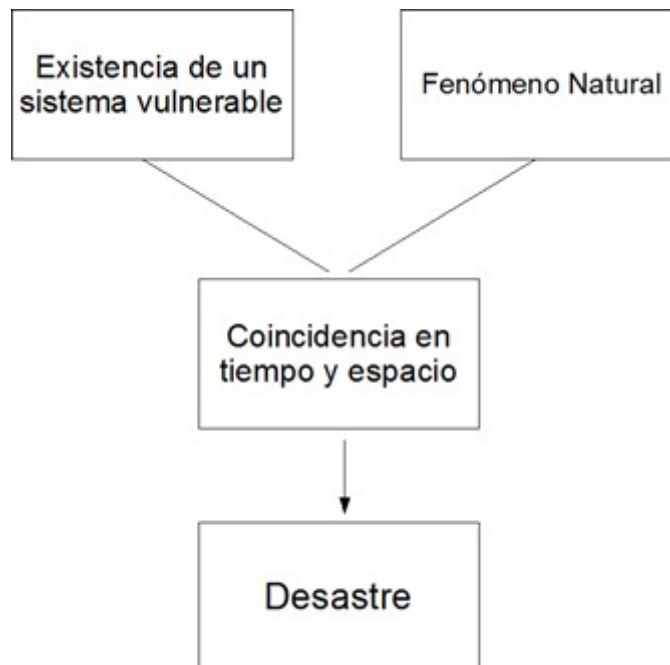
Esta tesis resultará de interés para todos aquellos actuarios que estén interesados en las formas de evaluación por concepto de cobertura de seguros por riesgos catastróficos.

# Capítulo 1: Desastres por fenómenos naturales

Figura 1.1. Tipos de riesgos por fenómenos naturales  
(Fuente: Elaboración propia)



Figura 1.2. Dinámica de un desastre por fenómeno natural  
(Fuente: Elaboración propia)



## **1.1. Qué es un fenómeno natural**

El Planeta Tierra consta de un conjunto de elementos que interactúan unos con otros bajo normas físicas y químicas creando sistemas climatológicos, atmosféricos y geológicos que rigen nuestro entorno; estos sistemas son “naturales” siempre que la intervención directa del hombre no se presente para modificar su conducta. En la vida diaria podemos contemplar la existencia de muchos de estos sistemas, algunos ejemplos son la lluvia, el viento, entre otros, a la manifestación de éstos los denominaremos fenómenos naturales, para este trabajo de investigación nos enfocaremos en aquellos de orden hidrometeorológico, como lo son los ciclones tropicales y las inundaciones, mismas que son ocasionadas por lluvias intensas, sin embargo, no dejaremos de mencionar a otro tipo de fenómenos los cuales no son hidrometeorológicos.

## **1.2 Tipos de fenómenos naturales**

En general se tienen dos divisiones con respecto a los fenómenos naturales, los que son de carácter geológico e hidrometeorológico. Los fenómenos geológicos son sismos erupciones volcánicas, y tsunamis. Los de tipo hidrometeorológico pueden ser la lluvia, tormentas de granizo, ciclones tropicales, inundaciones, heladas, sequía, tormentas de nieve, frentes fríos, y erosión. A continuación se presentan algunas definiciones importantes, la mayoría de éstas han sido obtenidas de los fascículos especializados del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) del Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC).

### **1.2.1 Fenómenos geológicos**

Los fenómenos geológicos son manifestaciones naturales recurrentes, que tienen su origen en la dinámica interna y externa de las tres capas concéntricas de la tierra que se conocen como el núcleo, manto y corteza, las cuales se registran en distintas formas de liberación de energía. Estos fenómenos son los sismos, las erupciones volcánicas, deslizamientos o colapsos y hundimientos de suelos, y algunas de las consecuencias de los sismos y erupciones volcánicas como los maremotos (tsunamis).

#### **1.2.1.1 Sismos**

Se denomina sismo, o terremoto a las sacudidas o movimientos bruscos del terreno generalmente producidos por disturbios tectónicos o volcánicos. Comúnmente se habla de que un sismo tiene carácter oscilatorio o trepidatorio. Ambos términos se derivan de la percepción que ciertas personas tienen del movimiento del terreno y no de un parámetro instrumental. El terreno, ante el paso de las ondas sísmicas, no se mueve exclusivamente en dirección horizontal (oscilatorio) o vertical (trepidatorio) sino más bien de una manera compleja por lo que dichos términos no son adecuados para caracterizar el movimiento del terreno. En algunas regiones de América se utiliza la palabra temblor para indicar movimientos sísmicos menores y terremoto para los de mayor intensidad. En ocasiones se utiliza maremoto para denominar los sismos que



ocurren en el mar. La ciencia que se encarga del estudio de los sismos, sus fuentes y de cómo se propagan las ondas sísmicas a través de la Tierra recibe el nombre de sismología.<sup>1</sup>

### **Origen**

El origen de la gran mayoría de los terremotos se encuentra en una liberación de energía producto de la actividad volcánica o a la tectónica de placas.

Los terremotos tectónicos se suelen producir en zonas donde la concentración de fuerzas generadas por los límites de las placas tectónicas da lugar a movimientos de reajuste en el interior y en la superficie de la Tierra. Es por esto que los sismos de origen tectónico están íntimamente asociados con la formación de fallas geológicas. Suelen producirse al final de un ciclo denominado ciclo sísmico, que es el período de tiempo durante el cual se acumula energía en el interior de la Tierra que más tarde se liberará repentinamente. Dicha liberación ocasiona un terremoto, tras el cual, la energía comienza a acumularse nuevamente.

A pesar de que la tectónica de placas y la actividad volcánica son la principal causa por la que se producen los terremotos, existen otros muchos factores que pueden dar lugar a temblores de tierra: desprendimientos de rocas en las laderas de las montañas, hundimiento de cavernas, variaciones bruscas en la presión atmosférica por ciclones e incluso actividad humana. Estos mecanismos generan eventos de baja magnitud que generalmente caen en el rango de micro sismos, temblores que sólo pueden ser detectados por sismógrafos.

El punto interior de la Tierra donde se produce el sismo se denomina foco sísmico o hipocentro, y el punto de la superficie que se halla directamente en la vertical del hipocentro- y que, por tanto, es el primer afectado por la sacudida -recibe el nombre de epicentro.

El movimiento sísmico se propaga mediante Ondas elásticas (similares al sonido), a partir del hipocentro. Las ondas sísmicas se presentan en tres tipos principales: dos de ellas son ondas de cuerpo que sólo viajan por el interior de la Tierra y el tercer tipo corresponde a ondas superficiales, y son las responsables de la destrucción de obras y pérdida de vidas humanas.

El territorio mexicano se encuentra afectado por la interacción de cinco placas tectónicas. Durante el siglo pasado ocurrieron 71 temblores en el territorio nacional y sus alrededores inmediatos con magnitud mayor o igual que 7; 55 de ellos (77%) con profundidades menores de 40 km, es decir, muy cerca de la superficie terrestre.

### **Clasificación**

<i>Clase</i>	<i>Descripción</i>
Volcánico	Directamente relacionados con las erupciones volcánicas. Son de poca intensidad y dejan de percibirse a cierta distancia del volcán. Sólo en las explosiones de caldera, como las de Santorini o Krakatoa alcanzan grandes intensidades.

<sup>1</sup> Fascículo Sismos. M. En C. Carlos Gutiérrez Martínez, M. En I. Roberto Quaas Weppen, Dr. Mario Ordaz Schroeder, Ing. Enrique Guevara Ortiz, Dr. David Muriá Dávila. Serie Fascículos. CENAPRED, México. 2005.

<i>Clase</i>	<i>Descripción</i>
Tectónico	Originados por ajustes en la litosfera. El hipocentro suele encontrarse localizado a 10 ó 25 kilómetros de profundidad, aunque algunos casos se llegan a detectar profundidades de hasta 70 kilómetros y también pueden ser más superficiales. Se producen por el rebote elástico que acompaña a un desplazamiento de falla.

También existe la posibilidad de que se produzcan sismos por bombas nucleares, sin embargo en este trabajo no los consideramos por el hecho de que su existencia está relacionada con la actividad directa del ser humano.

Generalmente, al describir un gran sismo, además de su epicentro se mencionan valores de magnitud e intensidad; estos dos últimos términos aluden a fenómenos distintos y son frecuentemente confundidos. La intensidad de un sismo se refiere a un lugar determinado; se asigna en función de los efectos causados en el hombre, en sus construcciones y, en general, en el terreno del sitio. Esta medición resulta un tanto subjetiva, debido a que la manera de cuantificación depende de la sensibilidad de cada persona y de la apreciación que se haga de los efectos. Con el objetivo de comparar el tamaño de los terremotos en todo el mundo, se necesita una medida que no dependa, como la intensidad, de la densidad de población ni del tipo de construcción. La manera de evaluar el tamaño real de un sismo, está relacionada con la cantidad de energía liberada, que es independiente de la ubicación de los instrumentos que los registran.

### **1.2.1.2 Erupción volcánica**

Un volcán, en esencia, es un aparato geológico, comunicante temporal o permanentemente entre la litosfera y la superficie terrestre. Un volcán es también una estructura geológica, por la cual emerge magma (roca fundida) y gases del interior de un planeta. El ascenso ocurre generalmente en episodios de actividad violenta denominados erupciones.<sup>2</sup>

#### **Origen**

Al acumularse el material arrastrado desde la litosfera se forma una estructura cónica en la superficie terrestre que puede alcanzar alturas de centenas de metros hasta varios kilómetros. Al conducto que comunica el material interno conocido como magma (roca fundida) desde el interior con la superficie se le denomina chimenea. Esta termina en la cima del edificio volcánico, el cual está formado por una depresión o cráter. A los fragmentos sólidos de material volcánico arrojados al aire durante una erupción se les denomina Piroclastos, son pedazos de roca ígnea, solidificados en algún momento de la erupción, lo más a menudo durante su recorrido aéreo.

Por lo general los volcanes están asociados a los límites de placas tectónicas, aunque hay excepciones como el vulcanismo en puntos calientes o hot spots ubicados en el interior de placas tectónicas tal como es el caso de las islas Hawai.

En México gran parte del vulcanismo está relacionado con la zona de subducción formada por las placas de Rivera y Cocos con la gran placa Norteamericana, y tiene su expresión volcánica en la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). Esta Faja es una

<sup>2</sup> Fascículo Volcanes. Cervando de la Cruz Reyna. Serie Fascículos. CENAPRED, México. 2004.

elevación volcánica con orientación Este-Oeste, que se extiende más de 1,200 km y su ancho varía de 20 a 150 km.

### Clasificación

En la siguiente tabla se muestran las clases de volcanes y los tipos de erupción.

<i>Clase</i>	<i>Descripción</i>
Volcanes escudo, planicies lávicas y erupciones fisurales	Su tipo de erupción es Hawaiana que se caracteriza porque la lava tiene baja viscosidad y fluye a través de fisuras con temperatura mayor a 1200° Centígrados. Su explosividad es baja. Ejemplo: Mauna Loa.
Conos de lavas y cenizas abruptos	Su tipo de erupción es Estromboliana, el magma presenta una viscosidad moderada poco extensa y escasa. Su explosividad es variable. Ejemplo: Stromboli y Parícutín.
Estratovolcanes y calderas	Su tipo de erupción es Vulcaniana, Pliniana y Peleana, la temperatura del magma es menor a 900 ° Centígrados, es muy viscosa. Se presentan piroclastos. Su explosividad es muy violenta. Ejemplo: Vesubio, Pinatubo y St. Helen.

Algunos volcanes después de sufrir erupciones grandes, se colapsan formando enormes depresiones en sus cimas que superan un kilómetro de diámetro. Estas estructuras reciben el nombre de calderas.

La viscosidad (fluidez) de las lavas arrojadas por los volcanes está controlada por su composición química. Así, lavas más fluidas, o de tipo hawaiano, tienen composiciones ricas en hierro y magnesio y tienen un contenido bajo en sílice. Estas al salir de la chimenea se almacenan en el cráter o caldera hasta desbordarse, formándose ríos de lavas que pueden fluir distancias de varias decenas de kilómetros.

Las lavas viscosas tienen un alto contenido en sílice y vapor de agua. Dado que fluyen pobremente, forman un tapón en la chimenea lo que da lugar a erupciones explosivas, aumentando el tamaño del cráter. En casos extremos pueden destruir completamente el edificio volcánico como sucedió durante la erupción del Monte Santa Helena en 1980.

La lava no erupciona siempre desde una chimenea central ya que puede abrirse camino a través de aberturas en los flancos del volcán. Si estas erupciones son continuas pueden dar lugar a lo que se conoce como cono parásito. El Monte Etna tiene más de 200 de estos conos parásitos y algunos de ellos sólo expulsan gases. A estos últimos se los llama fumarolas.

### 1.2.1.3 Tsunamis

El término tsunami es japonés; internacionalmente se usa para designar el fenómeno que en español se denomina maremoto. Es una secuencia de olas que se generan cuando cerca o en el fondo del océano ocurre un terremoto; a las costas pueden arribar con gran altura y provocar efectos destructivos: pérdida de vidas y daños materiales. La mayoría de los tsunamis se originan por terremotos en el fondo del mar; sin embargo, decenas de tsunamis históricos de origen volcánico han causado numerosas muertes y grandes

daños a las propiedades a lo largo de las playas marinas y lacustres, aun a grandes distancias de las erupciones.<sup>3</sup>

### Origen

En la gran mayoría de los casos, el movimiento inicial que provoca la generación de los tsunamis es una dislocación vertical de la corteza terrestre en el fondo del océano, ocasionada por un sismo. En el transcurso del siglo veinte, éste ha sido el origen de aproximadamente el 94% de los 450 tsunamis ocurridos en el Océano Pacífico. Otros agentes causales menos frecuentes han sido: erupciones de volcanes sumergidos, impacto de meteoritos, deslizamientos submarinos y explosiones nucleares. Para que un sismo genere un tsunami, es necesario que:

- a) el hipocentro (punto de origen del sismo, en el interior de la Tierra. Lugar donde empieza la ruptura que se extiende formando un plano de falla) del sismo, o una parte mayoritaria de su área de ruptura, esté bajo el lecho marino, a una profundidad menor a 60 km (sismo superficial).
- b) Ocurra en una zona de hundimiento de borde de placas tectónicas; es decir, que la falla tenga movimiento vertical: que no sea solamente de desgarre, con movimiento lateral.
- c) En cierto lapso de tiempo el sismo libere suficiente energía, y que ésta se transmita eficientemente.

### Clasificación

Los tsunamis se clasifican en el lugar de arribo a la costa, según la distancia (o el tiempo de desplazamiento) desde su lugar de origen, en:

<i>Clase</i>	<i>Descripción</i>
Tsunamis locales	El lugar de arribo a la costa está muy cercano o dentro de la zona de generación (delimitada por el área de dislocación del fondo marino) del maremoto; por tiempo de desplazamiento: a menos de una hora. Ejemplo: el generado por un sismo en la Fosa Mesoamericana frente a Michoacán el 19 de septiembre de 1985, que tardó sólo 30 segundos para llegar a Lázaro Cárdenas, y 23 minutos a Acapulco.
Tsunamis regionales	El litoral invadido está a no más de 1,000 km o a pocas horas de viaje de la zona de generación. Ejemplo: el provocado por un sismo en las costas de Colombia el 12 de diciembre de 1979, que tardó 4 horas para llegar a Acapulco.
Tsunamis lejanos (remotos, transpacíficos o teletsunamis)	El sitio de arribo está muy alejado, en el Océano Pacífico, a más de 1,000 km de distancia de la zona de generación, a aproximadamente medio día o más de viaje. Ejemplos: el ocurrido tras un sismo en Chile el 22 de mayo de 1960; tardó unas 13 horas en llegar a Ensenada (México), y el maremoto generado en Japón el 16 de mayo de 1968; demoró 14 horas en arribar a Manzanillo (México).

Al acercarse las olas de los tsunamis a la costa, a medida que disminuye la profundidad del fondo marino, también se desaceleran, y la longitud se acorta. En consecuencia, su energía se concentra, aumenta la altura, y al arribar al litoral las olas así resultantes pueden asumir características destructivas.

<sup>3</sup> Fascículo Tsunamis. M. C. Salvador F. Farreras, Dr. Ramón Domínguez Mora, M. C. Carlos A. Gutiérrez Martínez. Serie Fascículos. CENAPRED, México. 2005.

## 1.2.2 Fenómenos Hidrometeorológicos

Los fenómenos hidrometeorológicos son los que se generan por la acción violenta de los fenómenos atmosféricos, siguiendo los procesos de la climatología y del ciclo hidrológico. Estos fenómenos paradójicamente son adversos y benéficos a la vez para la humanidad. En zonas costeras llegan a ser extremadamente destructivos y en otras zonas son benéficos ya que la lluvia favorece la recarga de presas, mantos freáticos, acelerando la actividad agrícola y ganadera, mitigando los incendios de pastizales y forestales.

Estos fenómenos son inundaciones fluviales o pluviales, heladas, sequías, nevadas, granizadas, tormentas eléctricas, temperaturas extremas, ciclones tropicales, y tornados. Para este trabajo nos limitaremos con analizar solamente los ciclones tropicales, y las inundaciones.

### Ciclones tropicales

Un ciclón tropical es un sistema atmosférico cuyo viento circula en dirección ciclónica, esto es, en el sentido contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio norte, y en el sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio sur. Como su nombre lo indica, el ciclón tropical se origina en las regiones tropicales de nuestro planeta.<sup>4</sup>

En latitudes templadas los ciclones son referidos como depresiones o ciclones extratropicales, y el término ciclón se usa sólo para referirse a los ciclones tropicales. Estos últimos, en su etapa más intensa, son conocidos por varios nombres, según las regiones en donde ocurren:

- a) En el océano Atlántico, golfo de México y mar Caribe son conocidos como huracanes.
- b) En el mar de Arabia y la bahía de Bengala como ciclones.
- c) En el mar de China y la costa de Japón como tifones.
- d) En el océano Índico, al este de Mauricio y Madagascar, como ciclones.
- e) En el océano Pacífico del noreste como huracanes.
- f) En el Pacífico Sur, al este de Australia y Samoa como huracanes y *willy willy*. En las Filipinas son conocidos como baguios.

### Origen

Estos sistemas de tormenta exigen, al menos, dos requisitos básicos: calor y humedad; como consecuencia, sólo se desarrollan en los trópicos, entre las latitudes 5° y 30° norte y sur, en las regiones y temporadas en que la temperatura del mar es superior a los 26° C.

La energía de los ciclones tropicales proviene esencialmente del calor y la humedad que transfiere el océano al aire en los niveles bajos de la atmósfera. Mientras el centro del ciclón permanece sobre aguas cálidas (temperatura mayor a los 26° C), el suministro de energía es enorme. Mientras más y más aire húmedo se dirige hacia el centro de la

<sup>4</sup> Fascículo Ciclones Tropicales. Martín Jiménez Espinosa, Lucía Guadalupe Matías Ramírez, Óscar A. Fuentes Mariles, Ricardo Prieto González. Serie Fascículos. 1ª Edición, CENAPRED, México. 2003.

tormenta para reemplazar al aire caliente que asciende rápidamente en forma de nubes, mayor calor es liberado a la atmósfera por condensación del vapor de agua y la circulación del viento continúa incrementándose.

Numerosas observaciones a lo largo del tiempo han demostrado que las condiciones necesarias para el desarrollo de tormentas tropicales y huracanes son generalmente:

- a) Una superficie oceánica con temperatura mayor a los 26° C.
- b) Cambios pequeños en la dirección y rapidez del viento con la altura en la capa de la atmósfera que va de la superficie hasta unos 15 km de altura.
- c) Una distribución vertical de humedad y temperatura que permita la formación de nubes cumulonimbus.
- d) Una perturbación inicial consistente en la existencia de una concentración de rotación ciclónica en las partes bajas y medias de la troposfera.
- e) Una localización en las zonas oceánicas tropicales del planeta, en donde la fuerza de Coriolis no sea demasiado pequeña, es decir, más allá de los 4 ó 5 grados de latitud hacia el polo del hemisferio en que se encuentran. Generalmente se forman en latitudes entre los 5 y 25

### **Clasificación**

La etapa antecedente de un ciclón tropical es conocida en América como Perturbación Tropical; los ciclones tropicales se caracterizan por una circulación cerrada de sus vientos y se dividen en fases de acuerdo con la velocidad de su Viento Máximo Sostenido en superficie (VMS):

<i>Clase</i>	<i>Descripción</i>
Depresión Tropical	Viento Máximo Sostenido menor a 63 km/h.
Tormenta Tropical	Viento Máximo Sostenido entre 63 y 118 km/h.
Huracán	Viento Máximo Sostenido mayor a 118 km/h.

Una vez que un ciclón tropical ha llegado a un VMS mayor a 118 km/h continúa una subclase de Huracanes divididos en 5 categorías, a esta escala se le conoce como Saffir – Simpson, la cual analizaremos en capítulos posteriores.

También existe la escala de Beaufort que es una medida empírica para la intensidad del viento, basada principalmente en el estado del mar, de sus olas y la fuerza del viento. Su nombre completo es Escala de Beaufort de la Fuerza de los Vientos.

## **Inundaciones**

Comúnmente nos referimos a que se tiene una inundación cuando vemos una gran cantidad de agua en un lugar donde antes no había. También podemos decir que una inundación es el incremento por arriba del “nivel normal” del agua en alguna superficie. El término “nivel normal” es relativo al espacio donde se incrementa el nivel del agua, no es lo mismo un nivel normal de agua nulo, es decir, que por ahí no debe pasar agua (calles, casas, edificios), a un nivel normal de agua de más de un metro (arroyos, ríos, lagos, costas).<sup>5</sup>

### Origen

Como ya se explicó anteriormente, se necesita un incremento en el nivel del agua para que se dé una inundación, por lo que los eventos capaces de ocasionar este incremento son precipitaciones, oleaje, marea de tormenta, o la falla de alguna estructura hidráulica.

Tenemos que las precipitaciones pueden ser ocasionadas por la humedad de ciclones, frentes fríos, cadenas montañosas (Orografía), y el calentamiento de la superficie terrestre (Convectividad); la marea de tormenta ocurre por los fuertes vientos de los ciclones y la disminución de la presión atmosférica en el centro de estos meteoros; el oleaje puede ser ocasionado por los vientos de los ciclones o un tsunami; en el caso de la falla de alguna estructura hidráulica ésta puede ser causada por exceder su capacidad de transportar agua, un mal diseño o el fin de su vida útil. Además, las características del terreno pueden facilitar el incremento del agua en ciertas regiones cuando ocurre alguno de los eventos antes mencionados.

### Clasificación

<i>Clase</i>	<i>Descripción</i>
Pluviales	Son consecuencia de la precipitación, se presentan cuando el terreno se ha saturado y el agua de lluvia empieza a acumularse pudiendo permanecer horas o días. Su principal característica es que el agua acumulada es agua precipitada sobre la zona inundada, es decir, el agua no proviene de otra parte como una cuenca que es una red de corrientes que fluyen hacia una corriente principal.
Fluviales	Se generan cuando hay una elevación del nivel de las aguas de los ríos y arroyos desbordándose sobre la superficie del terreno cercano a ellos (a lo anterior se le conoce como “Avenida”). El agua que se desborda proviene de precipitaciones en cualquier parte de la cuenca y no necesariamente de lluvia sobre la zona afectada.
Costeras	Ocurren cuando el nivel del mar asciende debido a la marea ocasionando que éste entre tierra adentro en las zonas costeras. Las causas de este tipo de inundaciones son los ciclones y los tsunamis.
Por falla en obras hidráulicas	Son ocasionadas por errores de diseño, mala operación, falta de mantenimiento o por el término de la vida útil de la obra. Las inundaciones causadas por este tipo de fallas suelen ser aún más grandes que las de las anteriores clases de inundación.

### 1.2.3 Medición de los fenómenos naturales

Desde siempre, el ser humano ha tenido un contacto directo con la naturaleza, sin embargo, no siempre la ha comprendido como en la actualidad. En la antigüedad, los fenómenos naturales como el viento, la lluvia, el fuego, entre otros eran asociados a entidades divinas por la falta de comprensión de dichos fenómenos, este paradigma de

<sup>5</sup> Fascículo Inundaciones. Marco Antonio Salas Salinas, Martín Jiménez Espinosa. Serie Fascículos. 1ª. Edición, CENAPRED, México. 2004.

la naturaleza no permitía analizar los fenómenos desde su origen, sin embargo, el ser humano desarrolló formas de poder clasificar a los eventos naturales y en cierta forma ser capaz de medir los fenómenos que le rodeaban, un ejemplo es sin duda el ciclo anual de las Estaciones ya que la agricultura estaba muy relacionada con este suceso. Pero, a pesar de algunos avances, aun las civilizaciones antiguas guardaban cierta ignorancia acerca de cómo medir ciertos fenómenos.

Hasta hace pocos siglos el avance científico ha dado apertura a nuevos métodos de investigación que han permitido analizar las leyes físicas y químicas que rigen nuestro planeta. Muchos de estos métodos se han enfocado en determinar la correlación entre el grado de los fenómenos naturales y su relación con las actividades humanas, creándose la necesidad de poder medir el grado de los fenómenos y el daño o beneficio que son capaces de ocasionar para la humanidad, esto dio lugar a la exigencia de tener escalas de intensidad para clasificar cada fenómeno conforme a su tipo.

En la actualidad la medición de fenómenos naturales es la metodología para poder medir la intensidad y/o magnitud de dichos fenómenos conforme a sus características. Entendemos por intensidad al potencial dañino que tiene el fenómeno y por magnitud al grado de fuerza que desarrolla. La intensidad es una escala que depende de los daños ocasionados por los fenómenos por lo que tiene una dependencia directa con las actividades y asentamientos humanos afectados, es por eso que se deben obtener escalas de intensidad adecuadas para cada lugar. Por ejemplo, para los ciclones tropicales la magnitud se mide por la velocidad del viento y dependiendo de ésta se clasifica en cierta intensidad que en este caso se encontraría dentro de la escala Saffir-Simpson que se encuentra relacionada a daños materiales potenciales en los Estados Unidos. En el caso de los sismos la escala de Richter mide la magnitud y la de Mercalli la intensidad, pero al igual que la escala Saffir-Simpson para ciclones, la escala de Mercalli es aplicable solo en ciertos lugares.

Cada fenómeno tiene una unidad de medida que nos permite conocer el potencial dañino que tienen, algunos ejemplos de unidades de medida de intensidad razonables son:

<i>Fenómeno</i>	<i>Unidad de medida de intensidad</i>
Ciclones	Velocidad máxima de viento
Sismos	Aceleración máxima del terreno
Tsunami	Máxima altura de ola
Inundación	Pluvial: Cantidad de escurrimiento que pasa por un sitio dado en cierto tiempo (Gasto). Fluvial: Cantidad de agua precipitada, nivel del agua. Costera: Máxima altura de ola.
Erupción volcánica	Cantidad de ceniza y flujo piroclástico

Fuente: Recopilación propia

Se debe de contar con recursos de instrumentación adecuados para medir la magnitud de los fenómenos naturales conforme a sus características, por ejemplo, para medir la velocidad del viento se usan el anemómetro o los radares doppler; la aceleración máxima del terreno se obtiene con acelerógrafos; la cantidad de lluvia precipitada se puede obtener con el pluviógrafo o el pluviómetro; y la máxima altura de ola se puede calcular con el mareógrafo.



Las ventajas de una correcta medición permiten ponderar eficientemente las afectaciones posibles ante la ocurrencia de los fenómenos naturales y de esa forma tener un mejor equilibrio entre las actividades humanas y la naturaleza.

### **1.3 Desastres por fenómenos naturales**

A lo largo de la historia de la humanidad, encontramos registros de la existencia de eventos perturbadores de origen natural que han ocasionado tragedias a lo largo de todo el planeta. Estas tragedias suceden porque los fenómenos naturales dañan o destruyen los asentamientos humanos ocasionando pérdidas materiales u ocasionando la muerte de las personas. Cuando sucede un evento natural y ocasiona una tragedia, se dice que es un desastre natural, sin embargo hay que aclarar que es un desastre ocasionado por uno o varios fenómenos naturales.

Existe un desastre por un fenómeno natural cuando coinciden la ocurrencia del fenómeno y una vulnerabilidad humana. Entendemos por vulnerabilidad como la susceptibilidad ante un fenómeno perturbador. El hecho de que ocurra un fenómeno no es un factor suficiente para desencadenar un desastre, éste debe causar alteraciones intensas en las personas, los bienes, los servicios y el medio ambiente, excediendo la capacidad de respuesta de la comunidad afectada, la población total o parcial padece directamente una situación de deterioro de su calidad de vida, sufre un daño serio o perturbación de su sistema de subsistencia, de tal manera que la recuperación resulta improbable sin ayuda externa. Se entiende por recuperación, la recuperación psicológica y física de las víctimas, el reemplazo de recursos físicos y las relaciones sociales requeridas para utilizarlos.

En muchas ocasiones, los desastres pueden ser ocasionados porque las actividades humanas permiten que los fenómenos naturales desarrollen mayor potencial de daño sobre ciertas regiones. Por ejemplo, el establecimiento de asentamientos humanos, la erosión, la deforestación, y otros factores, pueden modificar la respuesta hidrológica de las cuencas, ocasionando el incremento de la ocurrencia y de la magnitud de las inundaciones.

Un desastre, claramente no es un sismo o huracán, sino los efectos que éstos producen en la sociedad. Los eventos físicos son evidentemente necesarios y un prerrequisito para que sucedan los desastres, pero no son suficientes en sí para que se materialicen. Debe haber una sociedad o un subconjunto de la sociedad vulnerable a sus impactos; una sociedad que por su forma particular de desarrollo infraestructural, productivo, territorial, institucional, cultural, político, ambiental y social, resulte incapacitada para absorber o recuperarse autónomamente de los impactos de los eventos físicos “externos”.<sup>6</sup>

Si se realiza la construcción de casas con materiales de baja calidad, sin las normas adecuadas de ingeniería, y en zonas de terreno inestables, entonces un sismo de

---

<sup>6</sup> Desastres y Desarrollo: Hacia un Entendimiento de las Formas de Construcción Social de un Desastre: El Caso del Huracán Mitch en Centroamérica. (Capítulo publicado en el libro *Del Desastre al Desarrollo Sostenible: El Caso de Mitch en Centroamérica*, editado por el BID y CIDHS, 2000, compilado por Nora Garita y Jorge Nowalski). Allan Lavel. Pág. 6.

magnitud media puede ocasionar un desastre para las personas que viven en dicha casa, por otro lado, si la construcción se realiza bajo normas de ingeniería adecuadas, entonces el mismo sismo no ocasionará mayores daños a su estructura sin afectar la vida de las personas que la utilizan. Un caso conocido en que la falta de prevención ocasionó una mayor catástrofe fue la ocurrencia del huracán Katrina en los Estados Unidos el año 2005. La falta de mantenimiento en los diques ocasionó el desbordamiento del agua acumulada a los alrededores en la ciudad de Nueva Orleans ocasionando la inundación de una gran parte de ésta. Además la falta de coordinación en las acciones de evacuación como en los albergues, provocó que muchas personas se quedaran expuestas a padecer diferentes males como enfermedades y accidentes.

Es muy común decir que ha ocurrido un desastre natural cuando un fenómeno natural ocasiona una catástrofe, sin embargo, como ya se mostró, el factor humano es también determinante para que las tragedias ocurran. Realmente lo que hacen los fenómenos naturales es mostrar la falta de planeación en áreas urbanas, errores de diseño en estructuras, poca o nula preparación de los gobiernos y la sociedad para mitigar las consecuencias por la ocurrencia de fenómenos de origen natural. De ahí que sea más correcto decir “Desastres por fenómenos naturales” que decir “Desastres naturales”, sin embargo, muchos autores se refieren más comúnmente al segundo término y de ahora en adelante se usará éste como símil del primero a lo largo de este trabajo.

La población y economía mundial son hoy en día predominantemente urbanas. En América Latina más del 75 por ciento de la población, habita espacios urbanos de diversos tamaños. La concentración de la economía, de la cultura, de la inversión y del poder político es aún más acentuada. La mayoría de las megaciudades del mundo están ubicadas en áreas de gran amenaza física, como lo son un gran número de ciudades de tamaño intermedio y pequeño. En los países en vías de desarrollo estas ciudades están tipificadas por niveles altos y crecientes de vulnerabilidad social, vulnerabilidad que encuentra su expresión también en las ciudades de los países avanzados, como el sismo de Kobe y el huracán Andrew bien ilustraron. Y esta vulnerabilidad no solamente se expresa en términos de los impactos sufridos, sino también en lo débil de los esquemas de respuesta y las dificultades experimentadas en la rehabilitación y la reconstrucción, tanto en países atrasados como los supuestamente avanzados.<sup>7</sup>

Parte de la población de muchos países ha cambiado de una vida y economía rurales, a un modelo de desarrollo urbano e industrial. Aumenta la población por migración de la gente del campo hacia las zonas urbanas o por incremento de la gente que ya vive aglomerada en la ciudad, se construyen barrios "informales" o “marginales” sin una tecnología que responda a la realidad de la región.

Los años de 1995 y 2005 se han distinguido porque las pérdidas en daños ocasionados por los desastres son las mayores registradas. El temblor de Kobe en 95 y los huracanes de Estados Unidos y México en 2005 han sido los más costosos tanto para compañías de seguros como para los gobiernos. Para el sector asegurador mexicano, las pérdidas estimadas por Wilma fueron de \$1,865'000,000 de dólares y equivalen a la suma, a pesos constantes, de los siniestros de los 7 eventos más costosos que se conocían para el

---

<sup>7</sup> Desastres Urbanos: Una Visión Global. Allan Lavell, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales. 2000. Pág. 1

mercado mexicano, englobando a los huracanes Gilberto, Isidore, Emily, Stan y Kenna, al sismo de 1985, y al siniestro del satélite Solidaridad.<sup>8</sup>

Los desastres naturales pueden tener importantes impactos sobre las finanzas públicas, ocasionando que los gobiernos utilicen fondos que originalmente estaban destinados en otros fines para atender los desastres. Afortunadamente, la ayuda internacional ha servido para que el impacto en las finanzas públicas de los países afectados no sea tan severo.

### **1.3.1 Registro de desastres por fenómenos naturales**

Contar con la mayor cantidad de datos posibles acerca de los desastres naturales permite conocer su potencial destructivo y en parte ayudará a la toma de decisiones para poder mitigarlos.

Afortunadamente se han hecho grandes esfuerzos para registrar los eventos catastróficos que ha sufrido la humanidad. De manera internacional como nacional, los centros de investigación como las compañías aseguradoras nos permiten conocer los desastres y algunas de sus características.

#### **1.3.1.1 Bases de datos internacionales**

##### ***1.3.1.1.1 EM-DAT***

En la actualidad, gracias al interés y a los avances tecnológicos, se ha podido avanzar mucho en cuestión del conocimiento y registro de desastres naturales en diferentes partes del planeta. Afortunadamente existen bases de datos que contienen los datos de la existencia de desastres por cada país, un ejemplo lo encontramos en el sitio en Internet del Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) (que en español quiere decir Centro para la investigación sobre epidemias por desastres). El CRED es un esfuerzo de la Universidad Católica de Louvain en Brúcelas, Bélgica. Se puede consultar su base de datos en la dirección de Internet <http://www.cred.be/>, en este sitio podemos encontrar cuatro secciones principales: La base de datos internacional de desastres (EM-DAT), el proyecto para mejorar la calidad de la respuesta sanitaria en poblaciones en desastre y conflicto en el sureste de Asia (EM – SEANET), la base de datos del impacto sobre la humanidad en casos de emergencias complejas (CE-DAT), la base de datos bibliográfica con una colección de publicaciones en desastres, los conflictos y sus impactos en la humanidad (EM-BIB).

El CRED fue fundado en 1973 como una institución no lucrativa con carácter internacional bajo las leyes de Bélgica. En 1980 se convirtió en un Centro Mundial de Colaboración y Organización en Salud, y proporciona apoyo al Programa Global para la Preparación de Respuestas en casos de Emergencia de la Organización Mundial de la Salud (WHO). Desde entonces ha incrementado substancialmente su red mundial de colaboración. Colabora junto con el Departamento de Asuntos Humanitarios de la Organización de Naciones Unidas (UN-DHA), también trabaja en colaboración con la

---

<sup>8</sup> Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros, A.C., Comportamiento del seguro mexicano, resultados al cuarto trimestre de 2005-2004. Rolando Vega Sáenz, presidente febrero, 2006.

Oficina Humanitaria de la Unión Europea (ECHO), con la Federación Internacional de la Cruz Roja y la Luna Media Roja, con la Oficina para la Asistencia de Desastres Extranjeros de los Estados Unidos (OFDA-USAID), y con agencias no gubernamentales. Durante la década de los 90's, el CRED la promovió como la Década Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (IDNDR).

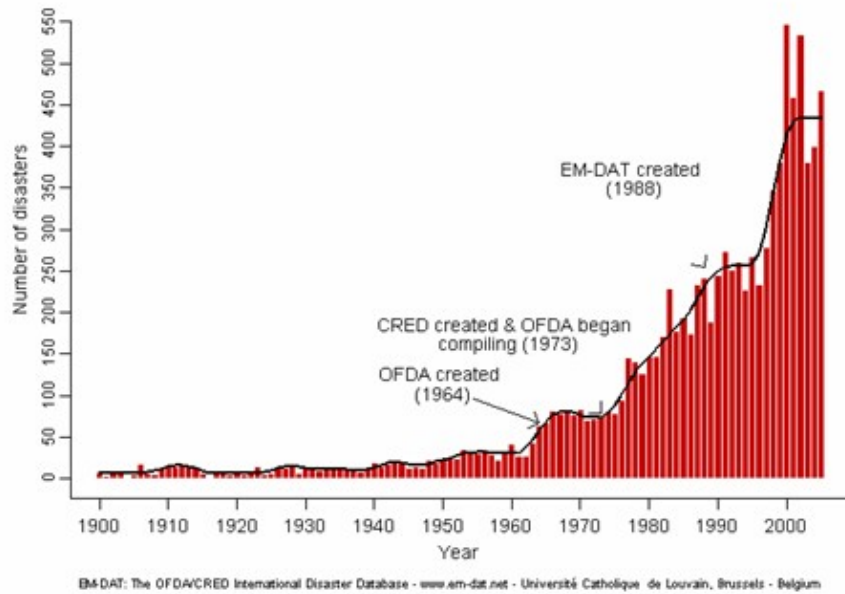
Desde 1988, el CRED ha estado manteniendo una base de datos de eventos que ocasionaron emergencias (EM-DAT). El EM-DAT fue creado inicialmente con el soporte de la Organización Mundial de la Salud y el Gobierno Belga. El objetivo principal de la Base de Datos es servir a diferentes propósitos relacionados a las acciones humanitarias a niveles nacionales e internacionales. La idea es conocer los datos históricos de los desastres para la toma de decisiones en cuestión de preparación ante la ocurrencia de fenómenos naturales, al mismo tiempo ofrecer una base para conocer las vulnerabilidades y de esa forma realizar acciones prioritarias ante dichos eventos. De esta forma, la base de datos nos permite conocer si en cierto país las inundaciones tienen mayor impacto en la sociedad que los sismos, o si es más vulnerable que otro ante un fenómeno natural.

EM-DAT contiene datos de la ocurrencia y de los efectos de aproximadamente 12,800 desastres masivos en el mundo desde el año de 1900 hasta hoy. Algunas características del desastre que se mencionan son su tipo, lugar y fecha de ocurrencia, el número de muertos, el número de heridos, viviendas perdidas o dañadas, número de afectados, pérdidas económicas, entre otras. Hay varias fuentes de los datos, entre ellas encontramos la información proporcionada por las agencias de la Naciones Unidas, organizaciones no gubernamentales, compañías de reaseguro, institutos de investigación, y agencias de prensa.

EM-DAT cuenta principalmente con el registro de dos géneros de desastres: los ocasionados por la ocurrencia de fenómenos naturales, y los de tipo tecnológico o antropogénico. Del primer tipo ya se ha comentado bastante. La expresión desastre antropogénico alude a los incidentes catastróficos no naturales que por actividades humanas han ocasionado tragedias que pueden manifestarse repentinamente o a largo plazo. Entre los desastres repentinos provocados por el hombre figuran los derrumbes de estructuras, edificios y minas que se producen independientemente, sin que medie una fuerza externa. A éstos se agregan los desastres de transporte aéreo, terrestre y marítimo.

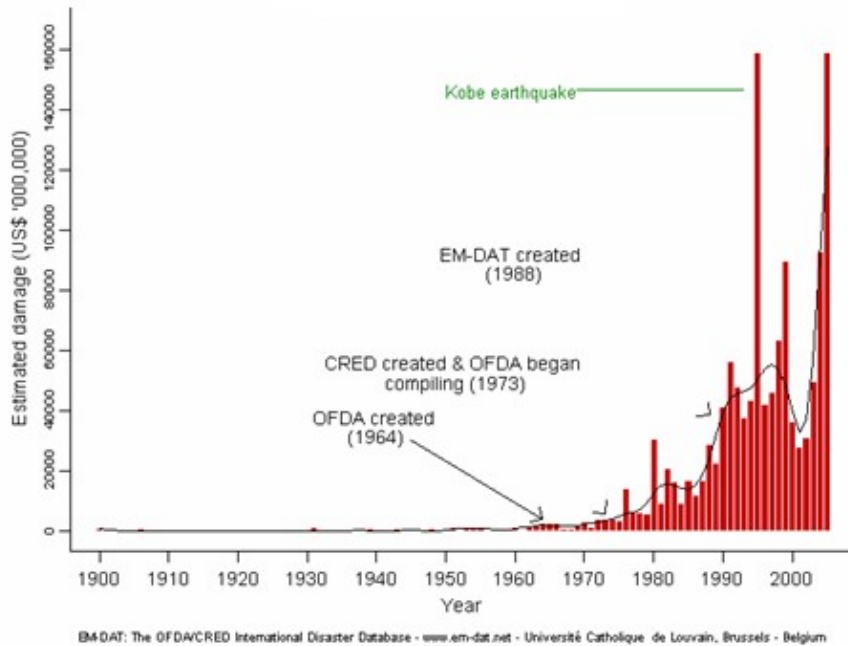
EM-DAT ha registrado el crecimiento en el número de desastres que requieren asistencia internacional, lo cual ha propiciado el interés en la colaboración, coordinación y donación de recursos para mitigar los desastres, facilitando el intercambio de información antes, durante y después de los desastres, así como la preparación para mitigar sus efectos. El conocimiento de la vulnerabilidad de los países en desarrollo ante diferentes tipos de desastres es necesario para hacer planes efectivos de preparación. La utilidad de la base de datos de desastres ha sido evidente para varias autoridades gubernamentales y agencias internacionales comprometidas con el alivio de su población ante los desastres, fomentando su mitigación y prevención. En el siguiente gráfico se muestra el registro del CRED de los desastres naturales ocurridos en el mundo desde 1900 hasta 2005. Se puede observar un incremento en los desastres.

Gráfico 1.1. Registro del número de desastres naturales de 1900 a 2006  
(Fuente: EM-DAT)



En el Gráfico 2, se puede observar el movimiento de las pérdidas en daños por desastres desde 1900 hasta 2005.

Gráfico 1.2. Registro del daño por desastres naturales de 1900 a 2005. (Fuente: EM-DAT)



### 1.3.1.1.2 NatCat

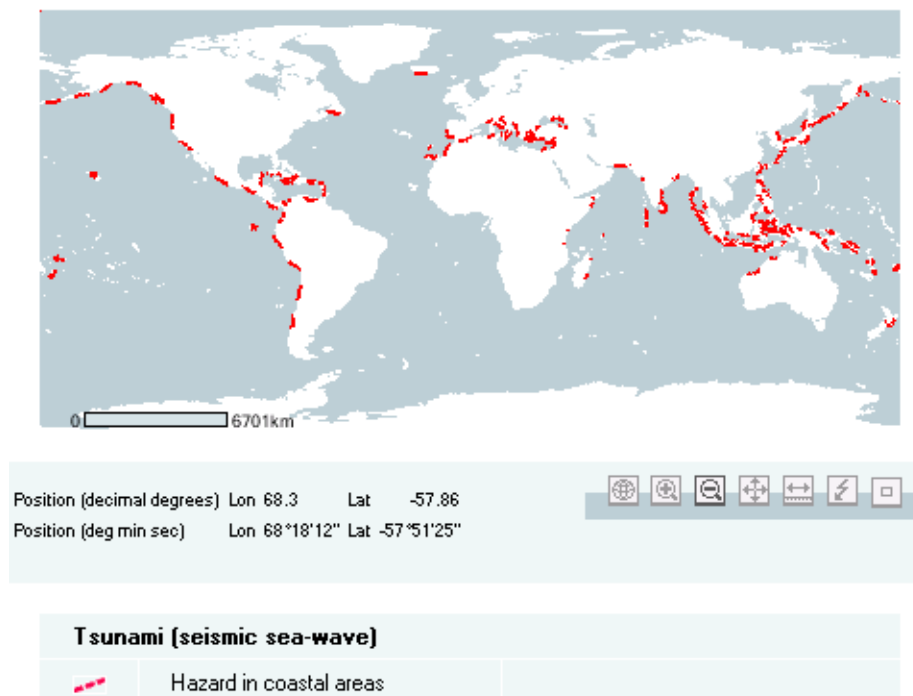
NatCat es una base de datos privada acerca de desastres naturales, es mantenida por la compañía reaseguradora Munich. Los registros datan desde el año 79 DC, aunque se tienen mejores datos desde 1980. Actualmente existen alrededor de 20,000 registros con 800 nuevos eventos registrados por año. Las características del desastre incluyen los datos de personas muertas, heridas o afectadas, pérdidas económicas, y datos

relacionados al fenómeno tales como velocidad de viento, magnitud, y coordenadas geográficas. Los datos provienen de agencias de seguros nacionales, prensa, agencias de las Naciones Unidas, servicios meteorológicos, clientes y subsidiarias. Cualquiera puede consultar la base de datos, sin embargo, los clientes tienen acceso a mayor cantidad de detalles. Aunque este sistema se mantiene por una compañía cuyo negocio está enfocado al mercado de los reaseguros, también ofrece información de pérdidas en lugares donde no se cuenta con este tipo de servicios financieros.

Se puede consultar su base de datos en la siguiente dirección en Internet <http://mrnathan.munichre.com/>, al momento de ingresar, aparece un mapa mundial al cual se deberá hacer clic para después conducirnos a un segundo mapa de amenazas por categorías, es decir, geográficamente localiza los lugares donde han ocurrido cierto tipo de fenómenos naturales. Los eventos a escoger son, sismo, erupción volcánica, tsunami, ciclón, marea de tormenta, tornado, granizada, tormenta eléctrica, y por último iceberg a la deriva.

El sitio incluye otras dos secciones: Desastres Mayores y Perfil por País. En el primer y segundo caso se tiene la posibilidad de consultar los datos por país. En la Figura 1.3 se puede observar la amenaza mundial por tsunamis, se marcan las regiones que han sido afectadas por este fenómeno.

Figura 1.3. Amenaza mundial por tsunamis.  
(Fuente: NatCat)

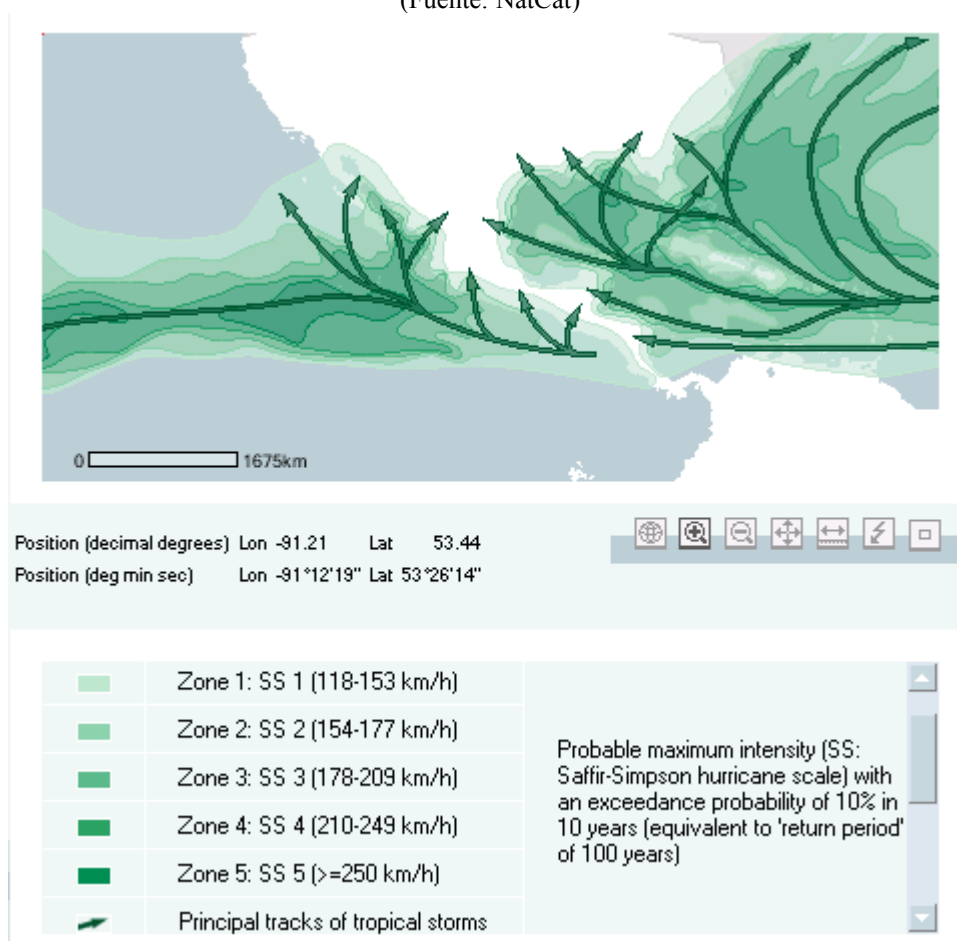


Como se puede observar, la zona más extensa del Planeta con amenaza de que ocurra un tsunami es la del Pacífico, esta región es conocida como el Cinturón de Fuego porque existen gran cantidad de volcanes e intersecciones entre placas tectónicas. México se encuentra como una zona amenazada por este tipo de fenómeno.

Se puede observar claramente la región afectada por el tsunami que ocurrió el 26 de diciembre de 2004, el cual fue ocasionado por un sismo de intensidad 9° conforme a la escala de Richter en Indonesia.

En la Figura 2 se puede observar la amenaza en Centro –Norte América y el Caribe por ciclones, se marcan las regiones que han sido afectadas por este fenómeno, el mapa también incluye sus trayectorias principales. Se podrá observar que México está fuertemente amenazado por este fenómeno en comparación con otros países, la mayoría de los ciclones generados en el Pacífico tienen una trayectoria directa hacia territorio mexicano, mientras que por el Atlántico también se observan afectados los Estados Unidos, Centro América y el Caribe.

Figura 1.4. Amenaza en Centro - Norte América y el Caribe por ciclones.  
(Fuente: NatCat)



### 1.3.1.1.3 DesInventar.

La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED) se formó en agosto de 1992, en la ciudad de Limón en el caribe costarricense como respuesta a la necesidad de estimular y fortalecer el estudio social de la problemática del riesgo y definir, a partir de ello, nuevas formas de intervención y de gestión en el campo de la mitigación de riesgo y prevención. Se puede consultar su sitio en <http://www.desenredando.org/>. La base de datos se puede consultar a través de un software que se puede descargar gratuitamente. El software sólo incluye datos de países

en América Latina y se puede descargar en la siguiente dirección en Internet <http://www.desinventar.org/desinventar.html>.

Desinventar es un Sistema de Inventarios, una metodología de registro de información sobre características y efectos de diversos tipos de desastres, con especial interés en los desastres invisibles desde escalas globales o nacionales. Este sistema tiene un software específico para consultas: la base de datos “Desconsultar”, que contiene alrededor de 44,000 desastres registrados durante 30 años.

### **1.3.1.2 Centros que realizan registros de desastres en México**

#### ***1.3.1.2.1 Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS).***

Es un organismo público descentralizado y un Centro Público de Investigación, adscrito al Sistema de Centros CONACyT, como parte del Subsistema de Ciencias Sociales. Este Centro colabora con La RED generando la base de datos de México que se puede manipular con el software “Desconsultar”. La fuente de los datos de desastres se obtiene de los siguientes periódicos mexicanos, El Universal, Excelsior y La Jornada. La base de datos se puede consultar en:

<http://www.desinventar.org/en/usuarios/norteamerica/mx.html#2>

#### ***1.3.1.2.2 Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).***

La responsabilidad principal del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) consiste en apoyar al Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) en los requerimientos técnicos que su operación demanda. Realiza actividades de investigación, capacitación, instrumentación y difusión acerca de fenómenos naturales y antropogénicos que pueden originar situaciones de desastre, así como acciones para reducir y mitigar los efectos negativos de tales fenómenos, para coadyuvar a una mejor preparación de la población para enfrentarlos.

El CENAPRED realiza la publicación de la serie: “Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurredos en la República Mexicana” desde el año 1999. Su recopilación ha estado a cargo del Área de Investigación del Centro en el departamento de Estudios Económicos y Sociales, y es el producto tanto de las evaluaciones, como del análisis de información documental recabada en diversas fuentes tanto del sector público como del privado. Entre las fuentes de información de gran utilidad, se encuentra la información proporcionada por la Dirección General de Protección Civil, a través del Centro Nacional de Comunicaciones (CENACOM).

Las publicaciones presentan las valoraciones de los principales desastres que ocurren año con año. Las evaluaciones realizadas son el resultado de visitas de campo, como de consultas directas con las autoridades locales, por investigadores del CENAPRED. Contiene tanto los efectos de los fenómenos sobre la población y sus bienes afectables, así como las características físicas que dieron origen a los mismos. La metodología empleada en este informe también busca medir tanto los efectos directos como los efectos indirectos, es decir, las pérdidas en la producción de bienes y servicios y/o lucro cesante, como resultado de la paralización de las actividades económicas ocurridas a



raíz del desastre. Para realizar la parte de la evaluación del impacto socioeconómico se empleó, en la medida de lo posible, la metodología desarrollada para estos fines por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) de las Naciones Unidas. Las variables destacadas en las evaluaciones son: Estado, Fenómeno, Muertos, Población afectada (personas), Viviendas dañadas, Escuelas, Área de cultivo dañada y/o pastizales (h), Caminos afectados (km), Total de daños (millones de pesos). En la Tabla 1.1 se tiene un ejemplo de la forma en que se registran los desastres en el Centro.

Tabla 1.1: Principales desastres ocurridos en 2005 según grandes categorías

Estado	Fenómeno	Muertos	Población afectada (personas) <sup>1/</sup>	Viviendas dañadas	Escuelas	Área de cultivo dañada y/o pastizales (h)	Caminos afectados (km)	Total de daños (millones de pesos)
<b>Fenómenos hidrometeorológicos</b>								
Oaxaca	Granizada	8	5,000	800	83	331.8	0.0	35.4
Veracruz	Tormenta tropical "Brett"	0	9,400	2,445	0	2.0	0.0	10.0
Quintana Roo	Huracán "Emily"	0	10,112	851	76	8,612.0	0.0	1,111.0
Yucatán	Huracán "Emily"	0	77,670	15,534	209	34,956.0	498.6	1,020.4
Tamaulipas	Huracán "Emily"	0	50,515	10,103	145	3,061.0	1,368.8	1,530.3
Nuevo León	Huracán "Emily"	0	40,385	8,077	64	0.0	1,780.0	726.5
Veracruz	Fuertes Lluvias	3	428	85	0	0.0	2 puentes	6.9
Veracruz	Tormenta tropical "José"	0	1,635	676	0	0.0	0.0	2.7
Chiapas	Fuertes Lluvias	0	617	0	0	0.0	Un puente	3.3
Oaxaca	Fuertes Lluvias	0	4,200	800	0	0.0	2 puentes	9.8
Chiapas	Huracán "Stan"	86	162,570	32,514	305	208,064.6	5,669.2	15,031.5
Oaxaca	Huracán "Stan"	5	37,405	7,481	441	32,155.1	7,796.9	1,757.0
Veracruz	Huracán "Stan"	0	13,490	2,698	407	61,480.5	231.0	2,535.7
Puebla	Huracán "Stan"	3	50,725	10,145	337	20,045.0	3,544.4	917.3
Hidalgo	Huracán "Stan"	4	11,000	2,200	62	4,876.0	328.0	819.8
Quintana Roo	Huracán "Wilma"	0	113,750	22,750	358	9,529.5	0.0	18,258.0
Yucatán	Huracán "Wilma"	0	31,150	6,230	115	39,786.8	107.0	514.9
<b>Fenómenos Geológicos</b>								
Baja California	Deslizamiento de suelo	1	67	0	0	0.0	0.0	0.3
Puebla	Deslizamiento de suelo	0	74	17	0	0.0	0.0	0.2
Baja California	Deslizamiento de suelo	0	295	59	0	0.0	0.0	0.6
<b>Fenómenos Químicos</b>								
Baja California	Incendio forestal	0	0	0	0	38,730.3	0.0	38.7
Oaxaca	Incendio forestal	0	0	0	0	30,938.0	0.0	30.9
Jalisco	Incendio forestal	0	0	0	0	28,407.0	0.0	28.4
<b>Fenómenos Socio-Organizativos</b>								
Jalisco	Accidentes carreteros	14	0	0	0	0.0	0.0	0.6
Baja California Sur	Accidentes carreteros	21	0	0	0	0.0	0.0	0.6
Oaxaca	Accidentes carreteros	13	0	0	0	0.0	0.0	0.6

1/ Se consideran a los heridos, evacuados y damnificados.

Fuente: CENAPRED

### 1.3.1.3 Comentarios acerca de los registros de desastres

Hay que tomar en cuenta que las metodologías para registrar los desastres son relativamente nuevas y que no en todas partes del planeta se contaba con el

conocimiento, interés o capacidad de llevar estadísticas acerca de los eventos catastróficos.

Con respecto al aumento de los desastres, un factor que puede proporcionar información acerca de esto es el crecimiento de la vulnerabilidad ante los fenómenos perturbadores. Existen muchos ejemplos de fenómenos naturales de gran fuerza (erupciones volcánicas en lugares deshabitados, terremotos en un desierto, inundaciones periódicas en los estuarios de la selva amazónica), que sin embargo no ocasionan desastres, pues no existen comunidades humanas en su vecindad. Uno cae en la tentación de pensar que por alguna razón, La Tierra hubiera entrado en una especie de furiosa actividad (más terremotos, más erupciones volcánicas, más huracanes, más inundaciones), pero no es que haya aumentado la actividad de la naturaleza, sino que de los cambios en la relación entre comunidad y medio ambiente, han surgido nuevos factores, que convierten en desastres la misma actividad natural que antes no causaba tantos daños en la comunidad.<sup>9</sup>

Sin lugar a dudas el año 2005 marcó un punto importante en la historia de los desastres tanto en México como en el mundo. Análisis demuestran que el año 2005 fue la temporada de huracanes más activa que se ha conocido y la que más daños ha registrado en la historia de las compañías aseguradoras por pérdidas en estos eventos.<sup>10</sup>

Es importante señalar que el costo real de los desastres es probablemente mayor al citado. Los daños mencionados están basados en impactos físicos directos, es decir, en el costo que llevará reconstruir o reparar edificios, plantas industriales, etcétera, pero hay una cantidad mayor de daños indirectos como afectaciones en las actividades económicas por la destrucción de caminos, puentes, también representan gastos el atender a los heridos, prevenir enfermedades. Como ya se mencionó, un ejemplo son los exportadores que se vieron afectados por el sismo en Turquía de 1999 al ser frenada la demanda de su materia prima por las industrias afectadas. En Cancún, México, los hoteles y comercios dañados por el huracán Wilma perdieron clientes y por los daños a las playas los turistas perdieron interés en visitar el puerto, se tuvo que invertir mucho para la reconstrucción de las zonas turísticas, pero las pérdidas por falta de actividad durante y después del paso del huracán no se recuperará jamás.

Para el caso de México, se recomienda el uso de los registros generados nacionalmente porque estos nos ofrecen mayor fidelidad de las características de las afectaciones.

---

<sup>9</sup> Auge, caída y levantada de Felipe Pinillo, mecánico y soldador o yo voy a correr el riesgo, guía de la Red para la gestión local del riesgo. Gustavo Wilches - Chau. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. 1998. pag 3.

[http://www.desenredando.org/public/libros/1998/gglr/GGLR\\_Part1\\_ene-7-2003.pdf](http://www.desenredando.org/public/libros/1998/gglr/GGLR_Part1_ene-7-2003.pdf)

<sup>10</sup> Munich Re Group.

## Capítulo 2: Riesgo por fenómenos naturales

### 2.1. Riesgo en general

Cada una de las actividades realizadas por los seres humanos implica un posible evento desfavorable que, de llevarse a cabo, puede tener consecuencias relevantes o sin importancia. La posible ocurrencia de dichos eventos, así como su naturaleza, son parámetros esenciales para determinar el grado de daño que pueden tener sobre los posibles afectados. Existen tantos tipos de eventos desfavorables como tipos de actividades puedan desarrollarse.

La modelación matemática de la ocurrencia de eventos desfavorables y del grado de daño potencial sobre los afectados dará como resultado una medida de incertidumbre a la cual denominaremos riesgo. En algunos casos la modelación de dichos parámetros no se puede llevar a cabo, contando solamente con el conocimiento de posibles amenazas.

La diferencia entre amenaza y riesgo puede ejemplificarse en la preparación de los Estados Unidos ante el ataque terrorista a las torres gemelas el 11 de septiembre de 2001. Era un evento posible que fueran usados aviones para impactarse a edificios o centros gubernamentales, esto era considerado una amenaza y no un riesgo, de ahí, que ningún escenario de probabilidades frecuenciales pudo haber sido preparado. Como ya se mencionó anteriormente, una amenaza no puede ser considerada un riesgo sin al menos un incidente específico donde la amenaza se haya concretado para llevar a cabo un análisis de posible ocurrencia expresado en una probabilidad, en este caso de tipo frecuencial.

La existencia del riesgo implica la del peligro. El peligro está implícito en actividades, tareas, operaciones, herramientas o agentes que se convierten en fuentes significativas de riesgo, ya sea personales o físicos, y de posibles consecuencias negativas. Algunos ejemplos de peligros son: Manejar un vehículo de tracción en terreno escabroso, manipular sustancias venenosas, deshacerse de solventes, manejar en estado de ebriedad, etcétera.

Generalmente teniendo el conocimiento de la probabilidad de que ocurra un evento y algún parámetro que permita medir el daño que se espera de éste, la combinación de ambos proporcionará un valor esperado del daño potencial del evento. Este valor esperado es el más usado para realizar la evaluación de riesgos.

El riesgo siempre es consecuencia de las decisiones sociales, o de la falta de éstas. Esto no significa que sea producto necesariamente de la sociedad, sino que el riesgo ya puede existir, y aún así, tomar la decisión de exponerse a ello, como pueden ser los asentamientos irregulares en barrancas en donde hay derrumbes o deslaves, o bien, vivir cerca de una zona propensa a las inundaciones.

Conforme las herramientas, procesos y capacidades de la sociedad se vayan modificando, los riesgos también lo harán.

Matemáticamente el riesgo es una variable aleatoria que mapea estados futuros del mundo a valores que representan pérdidas o ganancias. Los riesgos pueden considerarse

ya sea de manera individual o como parte de un proceso estocástico en el que los riesgos actuales dependen de los riesgos previos.

## **2.2. Clasificación del riesgo**

Existen muchas formas de clasificar los riesgos, en general, hablaremos de cinco principales clasificaciones del riesgo.

### **2.2.1 Por su posibilidad de medición**

#### **2.2.1.1 Riesgos objetivos**

Es definido como la variación relativa de pérdidas actuales, provenientes de pérdidas esperadas o la desviación estándar, el coeficiente de variación, el rango relativo o alguna otra medida estadística. Los riesgos objetivos, como se puede observar, son aquellos que pueden ser evaluados con alguna metodología estadística. Algunos ejemplos de riesgos objetivos son: Morir antes de los 27 años de edad, perder una apuesta deportiva, perder una inversión en la bolsa de valores, sufrir un accidente automovilístico, entre otros.

#### **2.2.1.2 Riesgos subjetivos**

Es la incertidumbre fundada en un estado mental o psicológico, gusto o aversión al riesgo. Las experiencias conseguidas anteriormente afectan al individuo en cuanto a su percepción del riesgo. El impacto del riesgo subjetivo varía dependiendo de cada individuo.

### **2.2.2 Por su potencial dañino**

#### **2.2.2.1 Riesgos fundamentales**

Se originan de pérdidas que son impropias a la acción del afectado tanto en consecuencias como en origen. Son aquellos riesgos cuyo fundamento son las incertidumbres, inexactitudes y errores del sistema económico. La mayoría de este tipo de riesgos se origina en la economía, la política o en la interdependencia de los pueblos, también pueden darse por la ocurrencia de fenómenos naturales. Las pérdidas que provienen de riesgos fundamentales no pueden ser financiadas, generalmente, por una sola persona, y frecuentemente sus resultados son catastróficos.

#### **2.2.2.2 Riesgos particulares**

En principio son personales tanto en causa como en efecto. Estos riesgos surgen de pérdidas que tienen su origen en hechos directamente relacionados con la actividad del afectado. Fuentes de riesgos particulares serían: el robo a un banco, el incendio de una casa, el hundimiento de un barco o la explosión de una caldera.

Un riesgo puede ser fundamental o particular, dependiendo del juicio de una sociedad determinada, en una época dada. Por ejemplo, el criterio de los accidentes industriales, en alguna ocasión se llegó a creer que los daños ocasionados al trabajador en un

accidente era culpa exclusivamente del empleado mismo o del patrón. Hoy se tiende a aceptar que dichos accidentes son consecuencia del sistema industrial.

## **2.2.3 Desde el punto de vista causal**

### **2.2.3.1 Riesgos puros**

Se definen como la situación donde sólo hay posibilidad de pérdida. Normalmente no se obtiene utilidad si una pérdida ocurre.

### **2.2.3.2 Riesgos especulativos**

Son aquellos eventos donde hay tanto posibilidad de pérdida como de ganancia, generalmente sujetos de azar, como los juegos, las inversiones en Bolsa de Valores o el lanzamiento al mercado de un nuevo producto. Existe incertidumbre respecto al propio suceso. Los riesgos puros son más fáciles de estimar que el riesgo especulativo. La Ley de los Grandes Números puede ser más fácilmente aplicada en los riesgos puros, donde la pérdida puede ser estimada en el futuro.

### **2.2.3.3 Riesgos personales**

Son aquellos donde existe posibilidad de pérdida de ingresos o pertenencias como resultado de la pérdida de habilidad para tener ingresos, lo cual se puede deber a muerte prematura, edad avanzada, enfermedad, accidentes personales, desempleo.

### **2.2.3.4 Riesgos a la propiedad**

La persona que posee una propiedad está expuesta al riesgo de tener algún daño o una pérdida en dichos bienes. Hay tres tipos de pérdidas asociadas con este riesgo:

1. Pérdida directa. Son aquellas pérdidas que se originan directamente de un evento dañoso que afecta a la propiedad. Por ejemplo, el daño físico o destrucción total de la propiedad, ocasionado por un incendio.
2. Pérdida indirecta. Se origina como resultado de otras pérdidas ocurridas. Por ejemplo, la pérdida de utilidades que se puede tener durante varios meses, mientras se reconstruye o reubica la propiedad dañada por el incendio.
3. Gastos Extra. Se incurre en estos ante la ocurrencia de alguna pérdida, ya sea para cubrir los daños o para continuar las operaciones.

### **2.2.3.5 Riesgos de responsabilidad**

Son otro tipo de riesgos que afectan a la mayoría de las personas. Bajo cualquier sistema de leyes, la persona es legalmente responsable si hace algo que dé como resultado algún daño a terceros o a sus propiedades. El proceso legal obliga a resarcir las pérdidas a la persona que se le causaron.

## **2.2.4 Por su movimiento**

### **2.2.4.1 Riesgos estáticos**

En términos físicos, se refieren a propiedades que están fijas geográficamente, tales como locales y edificios. En términos de probabilidad se refieren a aquellas cuya variación es leve o permanece baja en un determinado lapso. También se identifican como aquellos que se deben a pérdidas causadas por las acciones irregulares de la naturaleza o por los errores y delitos de las actividades humanas.

### **2.2.4.2 Riesgos dinámicos**

En términos físicos, se refieren a propiedades que no están fijas geográficamente, tales como la mercancía en traslado o los vehículos propiedad del afectado. En términos de probabilidad se refieren a aquellas que presenta una variación que puede ser representativa en un determinado lapso. También se identifican como aquellos que están asociados con una economía en movimiento. Importantes ejemplo de riesgos dinámicos incluyen los cambios en las tasas al consumidor, cambios tecnológicos, nuevos métodos de producción, entre otros.

## **2.2.5 Por su origen**

### **2.2.5.1 Riesgos por fenómenos naturales**

Son aquellos originados por fenómenos de la naturaleza como inundaciones, terremotos, erupciones volcánicas, entre otros.

### **2.2.5.2 Riesgos tecnológicos**

Aquellos asociados a accidentes de origen tecnológico, como el riesgo químico, el nuclear o el transporte de mercancías peligrosas, grandes apagones eléctricos, entre otros.

### **2.2.5.3 Riesgos antrópicos**

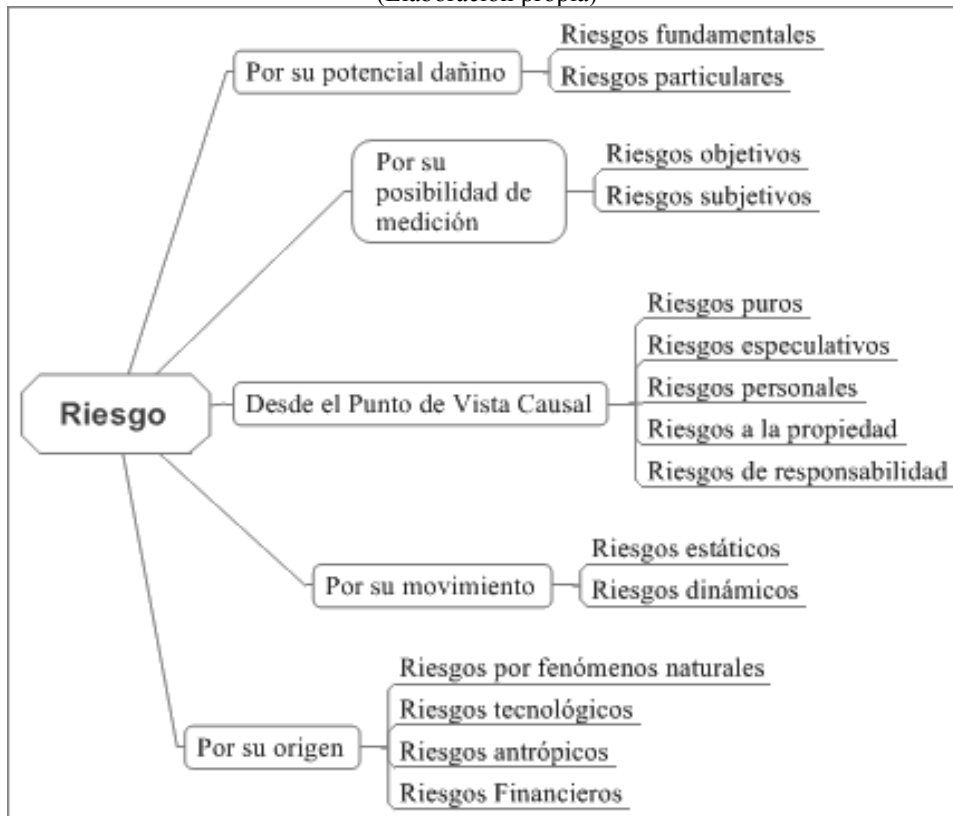
Son aquellos generados por la actividad humana tales como accidentes de transporte público, grandes concentraciones de personas (acontecimientos deportivos, festividades, manifestaciones), entre otros.

### **2.2.5.3 Riesgos Financieros**

Son aquellos que tienen que ver propiamente con las actividades financieras y pueden implicar pérdidas o ganancias.

En la figura 2.1 se tiene un esquema con los tipos de riesgos mencionados anteriormente.

Figura 2.1. Tipos de riesgo  
(Elaboración propia)



### 2.3. Análisis de riesgos

Un análisis de riesgos puede ser tan amplio como los riesgos mismos en estudio. Un análisis detallado de la ocurrencia de eventos en diferentes actividades que se encuentran en riesgo, proporcionará mayor confianza en los implicados. De lo anterior se desprende la necesidad de tener metodologías que permitan la realización de análisis aceptables de riesgo.

Algunos aspectos a tratar en un análisis de riesgo son:

- Identificación de sucesos no deseados, que pueden conducir a la materialización de una pérdida.
- Análisis de las causas por las que estos sucesos tienen lugar.
- Valoración de las consecuencias y de la frecuencia con que estos sucesos pueden producirse.

Entre los factores que afectan la actitud de una entidad que se encuentra sometida a un riesgo concreto, hay dos que juegan un papel fundamental: el conocimiento y desconocimiento de las características del peligro en cuestión y el hecho de que el riesgo sea sufrido voluntariamente o no.

## 2.4. Definición del riesgo por fenómenos naturales

Ya anteriormente se mencionó que los riesgos por fenómenos naturales son aquellos originados por fenómenos de la naturaleza como inundaciones, terremotos, erupciones volcánicas, entre otros. Para que el riesgo pueda existir debe de haber un Sistema afectable (asentamientos humanos, infraestructura, planta productiva) por la posible ocurrencia de un evento perturbador (en este caso un fenómeno natural), si no existen ambos elementos entonces no existe el riesgo.

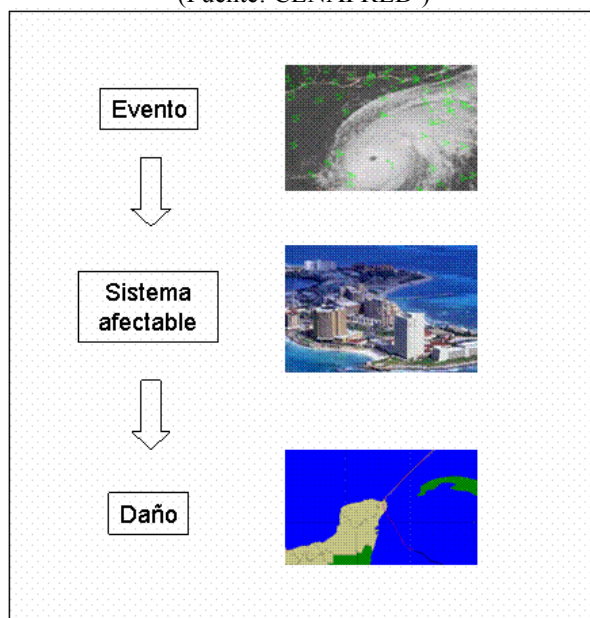
El riesgo por fenómenos naturales es considerado un riesgo puro, es decir sólo implica pérdida, por lo que este puede verse como el movimiento de tres factores importantes entre sí: el costo o valor de los bienes expuestos a un evento, por su nivel de vulnerabilidad o daño ante el evento en acción, y por la probabilidad de que el evento ocurra. De lo anterior podemos expresar al riesgo como:

$$R = CPV \quad (2.1)$$

Donde **C** = Valor de los bienes expuestos, **P** = Peligro, y **V** = Vulnerabilidad<sup>1</sup>

El riesgo es el resultado de la interacción entre el peligro y la vulnerabilidad de los elementos expuestos a ciertas amenazas. La expresión, nos da el riesgo ante la ocurrencia de un evento con cierta intensidad, sin embargo, para medir el riesgo será preferente tomar el promedio de daños esperados cuando ocurra un evento, es decir, obtener el riesgo ante el próximo evento. En la mayoría de los casos resulta más práctico conocer el riesgo relacionado a la ocurrencia de un conjunto de eventos distribuidos a lo largo de cierto periodo de tiempo, que solo el riesgo ante el próximo evento, de ahí la necesidad de añadir procesos que permitan esto.

Figura 2.2. Esquema de riesgos naturales  
(Fuente: CENAPRED<sup>2</sup>)



<sup>1</sup> Algunos conceptos del análisis de riesgos. Mario Ordaz. Revista Prevención, CENPARED, No. 14, 1996. Pág. 6.

<sup>2</sup> Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Varios autores (consultar hoja legal). CENAPRED, México. 2004.



## **2.5. Factores del riesgo por fenómenos naturales**

### **2.5.1 Valor de los bienes expuestos**

El parámetro  $C$  de la ecuación de riesgo expresada anteriormente, representa en términos cuantitativos el valor de los bienes expuestos a uno o varios fenómenos. Por lo general, este valor  $C$  tiene unidades monetarias, es decir, se da un valor equivalente en dinero a los elementos expuestos. De esta forma, mientras tengan menos valor los bienes expuestos entonces el riesgo será menor, es decir hay menos pérdida monetaria. Si no existe algún valor expuesto, entonces  $C$  toma el valor de cero al igual que el riesgo en consecuencia.

En el caso de un plan de seguro, se puede tomar a  $C$  como una suma asegurada.

$C$  no necesariamente debe de expresar el valor de bienes materiales, en algunos casos los expuestos pueden ser vidas humanas, sin embargo, aún no está muy claro el manejo de este tipo de expuestos para algunos fenómenos.

### **2.5.2 La vulnerabilidad**

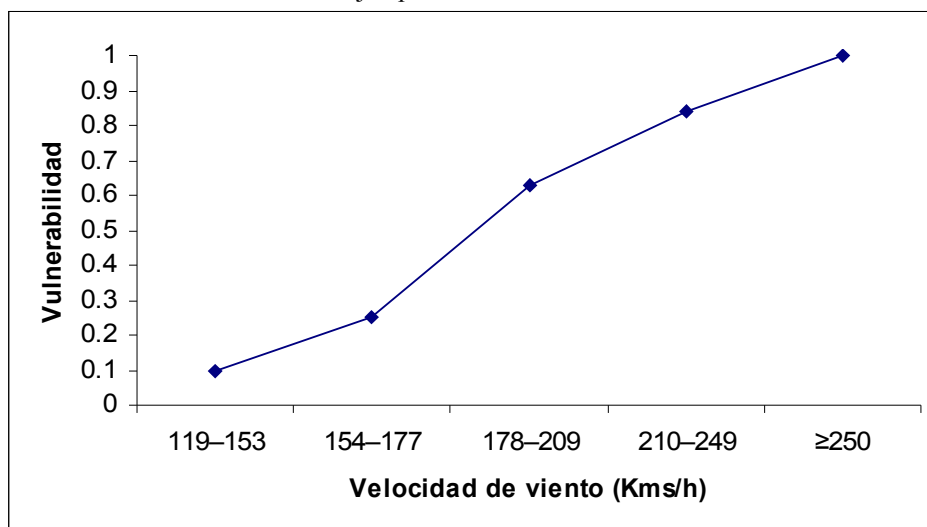
Es una medida de la susceptibilidad de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por la ocurrencia un evento perturbador. Pueden distinguirse dos tipos: la vulnerabilidad física y la vulnerabilidad social.

La vulnerabilidad física es más factible de cuantificarse, por ejemplo la resistencia que ofrece una construcción ante las fuerzas de los vientos producidos por un huracán. Esta vulnerabilidad se expresa como un valor entre cero y uno que equivale al porcentaje de daño y es normal expresarla a través de una función matemática o matriz de vulnerabilidad. Cero implica que el daño sufrido ante un evento de cierta intensidad es nulo, y uno, implica que este daño es igual al valor del bien expuesto

Una función de vulnerabilidad es una relación matemática que asocia las consecuencias probables de un fenómeno sobre una construcción, una obra de ingeniería, o un conjunto de bienes o sistemas expuestos con la intensidad de dicho fenómeno que podría generarlas.

En el Gráfico 2.1 se muestra un ejemplo ficticio de una función de vulnerabilidad de una casa que sufre el embate del viento. En el eje horizontal se muestran la intensidades en categorías de velocidad de viento (Escala Saffir Simpson), en el eje vertical se da la vulnerabilidad. Se puede observar que a una velocidad mayor a 250 kilómetros por hora la casa tiene un daño total.

Gráfico 2.1. Ejemplo de función de vulnerabilidad



La función de vulnerabilidad es creciente conforme aumenta la intensidad.

Posiblemente el ejemplo anterior pudiera corresponder a una casa realizada con materiales como madera o lámina que ofrecen poca resistencia al viento.

Es necesario evaluar la vulnerabilidad, ante cada fenómeno, de cada una de las obras construidas por el hombre.

Realizar funciones de vulnerabilidad involucra una categorización de los medios expuestos, en función de las consecuencias y la intensidad de un fenómeno natural determinado. Por ejemplo, en el caso de sismo, tanto los tipos de daños que pueden causar los movimientos del terreno en una construcción, en un sistema urbano o en una formación natural, como la selección de las variables del movimiento sísmico y de las propiedades del sistema o de la obra en cuestión que conduzcan a las estimaciones más confiables de las funciones de vulnerabilidad, dependen del tipo de sistema considerado.

Se pueden generar funciones de vulnerabilidad para cada aspecto que puede ser afectado por un fenómeno. Por ejemplo, se puede estudiar el caso de la vulnerabilidad de la estructura de una casa y la del menaje de ésta ante una inundación.

Cabe observar que pueden existir dos tipos de vulnerabilidad física: estática y dinámica. Por ejemplo, la estructura de una casa tiene una vulnerabilidad estática ante un huracán, mientras que un barco tendrá una vulnerabilidad dinámica ante el mismo fenómeno pues éste tiene la posibilidad de disminuir su vulnerabilidad alejándose del paso de la zona propensa a ser afectada.

Por otro lado, está la vulnerabilidad social, ésta puede valorarse cualitativamente y es relativa, ya que está relacionada con aspectos económicos, educativos, culturales, y el grado de preparación de las personas.

## 2.5.2 El peligro

El Peligro se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de cierta intensidad potencialmente dañino a los bienes expuestos.

Para evitar imprecisiones es importante concretar los fenómenos naturales por parámetros cuantitativos con un sentido físico que pueda medirse numéricamente y ser asociado mediante relaciones físicas con la vulnerabilidad que puede ocasionar el fenómeno sobre los bienes en exposición.

Como ya se mencionó un capítulo anterior, los fenómenos naturales pueden medirse por magnitud o intensidad. El parámetro adecuado para medir los efectos de los fenómenos en los bienes expuestos es la intensidad que es una escala que depende de los daños ocasionados por los fenómenos por lo que tiene una dependencia directa con las actividades y asentamientos humanos afectados.

Como la intensidad de un fenómeno varía conforme al tipo de bien expuesto, el estudio del peligro lleva a la construcción de escenarios, es decir, a la representación de los efectos del fenómeno en la región de interés.

La caracterización del fenómeno sólo es completa si se especifica su intensidad, de lo contrario la modelación del peligro puede resultar ambigua, llevando a errores al momento de estimar posibles ocurrencias de fenómenos con cierta intensidad.

Para representar peligro, es decir, el carácter probabilístico de un fenómeno, comúnmente se usa el periodo de retorno (o de recurrencia), que es el lapso que en promedio transcurre entre la ocurrencia de fenómenos de cierta intensidad, este lapso es por lo regular, medido en años. El concepto de periodo de retorno, en términos probabilísticos, no implica que el proceso sea cíclico, o sea que deba siempre transcurrir cierto tiempo para que el evento se repita. En ocasiones se utiliza también el inverso del periodo de retorno llamada tasa de excedencia  $v(i)$ , definida como el número medio de veces, en que por unidad de tiempo, ocurre un evento que exceda cierta intensidad  $i$ . La tasa de excedencia es decreciente conforme la intensidad aumenta, es decir, ocurren más fenómenos naturales de intensidad menor que mayor.

Para muchos de los fenómenos no es posible representar el peligro en términos de periodos de retorno, porque no ha sido posible contar con la información suficiente para este tipo de representación. En estos casos se recurre a escalas cualitativas, buscando las representaciones de uso más común y de más utilidad para las aplicaciones en el tema específico.

La densidad de probabilidades de las intensidad,  $p(i)$ , puede obtenerse derivando  $v(i)$  de derecha a izquierda y normalizando posteriormente:<sup>3</sup>

$$p(i) = -k \frac{dv(i)}{di} \quad (2.2)$$

---

<sup>3</sup> Ibid.

Donde la constante  $k$  es tal que  $p(i)$  integra 1. Nótese que  $dv(i)/di$  es proporcional al número de eventos con intensidad igual a  $i$  o, más rigurosamente, con intensidad entre  $i$  e  $i+di$ .

## 2.6. Evaluación del riesgo

Mediante el conocimiento del peligro y la vulnerabilidad se puede calcular el riesgo ante el próximo evento con una intensidad específica conforme a la ecuación (1). Sin embargo, conviene más conocer el valor esperado de pérdidas posibles ante la ocurrencia de un evento de cierta naturaleza con cualquier intensidad probable.

Vale observar que la vulnerabilidad se distribuye probabilísticamente conforme al peligro. Ambas variables están relacionadas mediante la intensidad. Es importante que al momento de realizar la evaluación de los factores del riesgo mantener las mismas escalas de intensidad para el peligro y la vulnerabilidad.

El riesgo ante el próximo evento con cualquier intensidad probable es la suma de los asociados a los diferentes niveles de intensidad. De la ecuación (1) sumamos los riesgos para cada intensidad, y llegamos a:

$$R_p = C \sum_{i=1}^n P(i)V(i) \quad (2.3)$$

Donde  $P(i)$  es el peligro y  $V(i)$  es la vulnerabilidad en una intensidad  $i$ .  $P(i)$  se distribuye discretamente. En el caso de variables continuas tenemos:

$$R_p = C \int_0^{\infty} p(i)V(i)di \quad (2.4)$$

Un ejemplo en que el peligro se distribuye continuamente es la velocidad del viento, sin embargo conviene discretizar mediante intervalos de intensidades como la escala Saffir Simpson para facilitar el manejo de una vulnerabilidad en escalas también discretas, es decir, divididas por intervalos. De esta forma, será más sencillo ocupar la ecuación (3) para la evaluación del riesgo.

### 2.6.1 Ejemplo de evaluación del riesgo

Para mostrar la utilización de la metodología de evaluación del riesgo, mostramos un ejemplo aplicado al riesgo por ciclones tropicales en México. Gran parte de este ejemplo, puede encontrarse también en la “Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Riesgos Hidrometeorológicos” impresa y realizada por el CENAPRED en el año 2006 y de la cual tuve oportunidad de desarrollar este ejemplo en colaboración con el área de Riesgos Hidrometeorológicos.

### 2.6.1.1 Registro de ciclones tropicales

Los ciclones tropicales se caracterizan por una circulación cerrada de sus vientos y se dividen en fases de acuerdo con su Viento Máximo Sostenido en superficie (VMS).

Conforme a la escala Saffir-Simpson tenemos que:

DT corresponde a Depresión Tropical: VMS menor a 63 km/h.

TT corresponde a Tormenta Tropical: VMS entre 63 y 118 km/h.

H1 corresponde a Huracán categoría 1: VMS entre 119 y 153 km/h.

H2 corresponde a Huracán categoría 2: VMS entre 154 y 177 km/h.

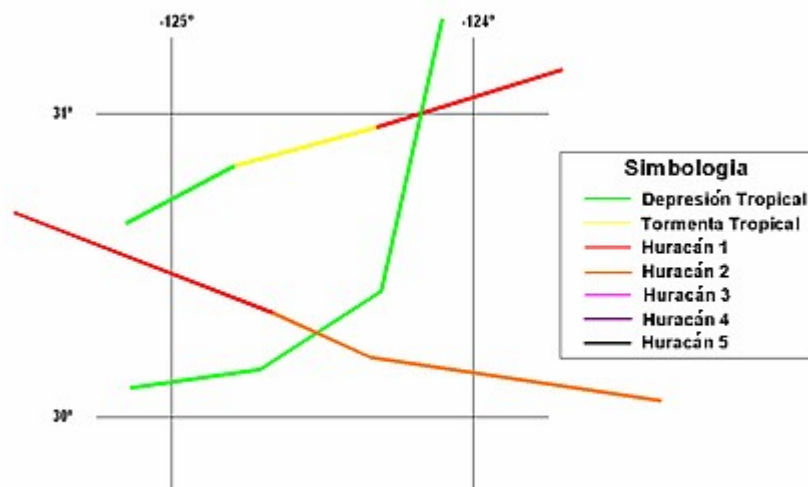
H3 corresponde a Huracán categoría 3: VMS entre 178 y 209 km/h.

H4 corresponde a Huracán categoría 4: VMS entre 210 y 249 km/h.

H5 corresponde a Huracán categoría 5: VMS mayores a 249 km/h.

Para obtener los registros de ocurrencia de ciclones tropicales, el área de riesgos hidrometeorológicos del CENAPRED realizó una búsqueda de las trayectorias de ciclones tropicales dentro de una malla abarcando a toda la república mexicana y una parte de los océanos que la rodean. La malla en la latitud norte va desde 13° a los 33° y en longitud desde 80° a 120°. La búsqueda se realizó con un programa en Visual Basic en ambiente de sistema de información geográfico (SIG). Se emplearon dos capas en formato shape, que previamente fueron generadas en el programa “Busca Ciclones” desarrollado en el Centro Nacional de Prevención de Desastres para los siguientes periodos en el océano Atlántico de 1851 al 2005 (155 años) y para el océano Pacífico de 1949 al 2005 (57 años). La búsqueda consistió en contar el número de trayectorias de los ciclones tropicales que pasaron dentro de un cuadro, como se ejemplifica en la Figura 2.2, cuyos lados son de un grado de longitud (en coordenadas geográficas); en el caso de que la trayectoria tuviera diferentes intensidades se tomaba la de mayor intensidad, por ejemplo dentro del cuadro de la figura 2.3, se puede observar una trayectoria con 3 intensidades: depresión tropical, tormenta tropical, y huracán categoría 1, entonces dentro del conteo sólo se consideraba un evento como huracán categoría 1.

Figura 2.3  
(Fuente: CENAPRED)



Con el programa anterior se obtuvo una tabla con las coordenadas del centro del cuadro, el conteo para las siete categorías del ciclón tropical y el periodo de registro de la base de datos para cada cuadro.

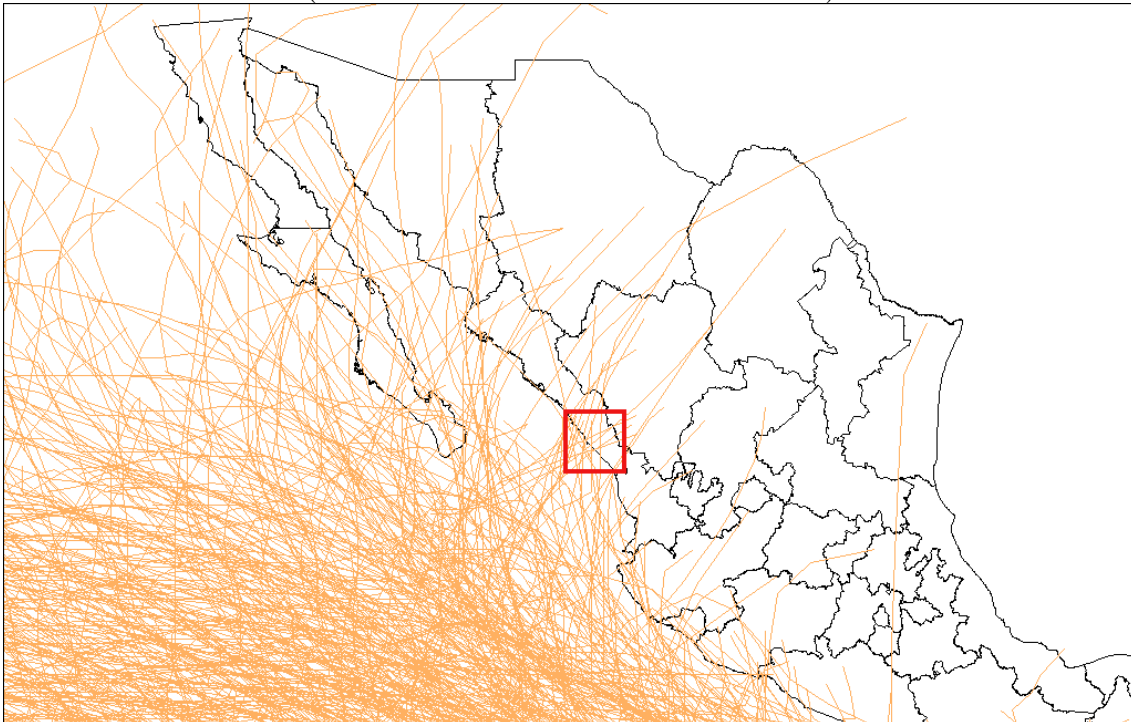
Como caso de análisis se decidió estudiar al estado mexicano de Sinaloa. En la figura 2.4 observamos una imagen de la República Mexicana, la zona estudiada se encuentra marcada con un punto rojo cuyas coordenadas corresponden a Longitud -106.5 y Latitud 23.5 que están muy cercanas a Mazatlán y Culiacán.

Figura 2.4



En la figura 2.5 se observa la región mencionada con las trayectorias de los ciclones tropicales registrados.

Figura 2.5  
(Fuente: Software Busca Ciclones. CENAPRED)



En la tabla 2.1, se muestra la estadística de la cantidad de excedencias de velocidad de vientos ocurridos durante el periodo de 1949 al 2005 en el punto mencionado clasificados por su intensidad.

Tabla 2.1

Intensidad $i$	Categoría	$M_i$
1	DT	2
2	TT	6
3	H1	7
4	H2	1
5	H3	1
6	H4	1
7	H5	0
Total		18

Donde  $M_i$  es el número de eventos de intensidad  $i$  máxima alcanzada por un evento, para nuestro caso es el VMS de cada categoría.

### 2.6.1.2 Tasa de excedencia $v(i)$

A partir de la tabla 2.1 se calculó la tasa de excedencia de intensidad  $v(i)$ , la cual registra todos los niveles de intensidad  $i$  excedidos durante un evento, es decir, si se llegó a un VMS de intensidad  $i$  ( $M_i$ ), se registran los niveles de intensidad menores rebasados durante el mismo evento. Por ejemplo, si se tiene un VMS de intensidad 7 (H5,  $M_i$ ) se registra también la ocurrencia del mismo evento para las intensidades inferiores, es decir, si se tienen 21 eventos con intensidad 2, y 8 eventos con intensidad

1 (tabla 2.1), entonces conforme a la tasa de excedencia se tuvieron 29 eventos de intensidad 1 y 21 eventos de intensidad 2.

Para obtener la tasa de excedencia por medio de registros como el de la tabla 2.1, se usará la siguiente expresión:

$$v(i) = \begin{cases} \sum_{j=0}^{N-i} (M_{N-j}) \\ 0 \text{ otro caso} \end{cases} \quad (2.5)$$

Donde N es nivel máximo de intensidad i que se puede alcanzar. Conforme a la tabla 2.1, tenemos que:

$$v(1) = \sum_{j=0}^6 M_{7-j} = M_7 + M_6 + M_5 + M_4 + M_3 + M_2 + M_1 = 0 + 1 + 1 + 1 + 7 + 6 + 2 = 18$$

$$v(2) = \sum_{j=0}^5 M_{7-j} = M_7 + M_6 + M_5 + M_4 + M_3 + M_2 = 0 + 1 + 1 + 1 + 7 + 6 = 16$$

$$v(7) = \sum_{j=0}^0 M_{7-j} = M_7 = 0$$

Los resultados anteriores corresponden a un periodo de 57 años, como conviene manejar una tasa de excedencia anual, procedemos a dividir entre 57 los resultados obtenidos. La tasa de excedencia queda de la siguiente manera:

Tabla 2.2: Tasa de excedencia

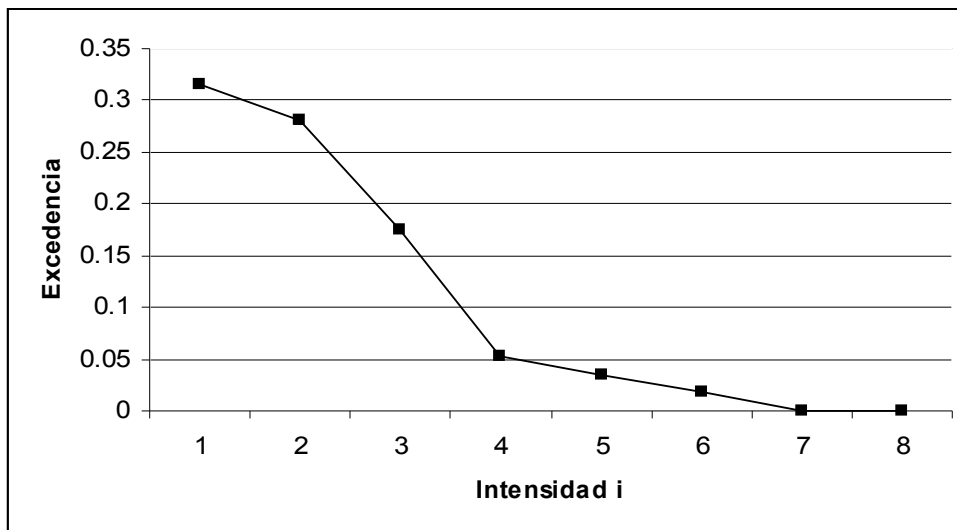
Intensidad i	v(i)
1	0.316
2	0.281
3	0.175
4	0.053
5	0.035
6	0.018
7	0
8	0

Más adelante se verá que el fin de usar una última intensidad  $i = 8$  es para usar la función de peligro.

Como se puede observar en el gráfico 2.2  $v(i)$  es decreciente con la intensidad.



Gráfico 2.2 Tasa de excedencia  $v(i)$



Ahora se procederá a calcular el peligro y los periodos de retorno por intensidad.

### 2.6.1.3 Peligro

En vista de su definición, la densidad de probabilidades de las intensidad,  $p(i)$ , puede obtenerse derivando  $v(i)$  de derecha a izquierda y normalizando posteriormente:

$$p(i) = -k \frac{dv(i)}{di} \quad (2.6)$$

Donde la constante  $k$  es tal que  $p(i)$  integra 1. Nótese que  $dv(i)/di$  es proporcional al número de eventos con intensidad igual a  $i$  o, más rigurosamente, con intensidad entre  $i$  e  $i+di$ .<sup>4</sup>

De la expresión (6) tenemos que

$$p(i) = -k \frac{dv(i)}{di}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(i) di = -k \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dv(i)}{di} di$$

$$1 = -k \int_1^8 \frac{dv(i)}{di} di$$

$$1 = -k[v(i)]_1^8$$

$$1 = -k[v(8) - v(1)]$$

<sup>4</sup> Algunos conceptos del análisis de riesgos. Mario Ordaz. Revista Prevención, CENPARED, No. 14, 1996. Pág. 7.

$$1 = k(0.316)$$

$$k = \frac{1}{0.316}$$

Generalizando diremos que:

$$k = \frac{1}{v(1)} \quad (2.7)$$

La función de peligro queda de la siguiente forma:

$$p(i) = - \frac{1}{0.316} \frac{dv(i)}{di} \quad (2.8)$$

La probabilidad de que se de un evento que exceda la intensidad  $i$  sin que avance al siguiente nivel está dado por:

$$P(i) = - \frac{1}{0.316} \int_i^{i+1} \frac{dv(i)}{di} di \quad (2.9)$$

Para el caso de  $i = 1$  se tiene

$$P(1) = - \frac{1}{0.316} \int_1^2 \frac{dv(i)}{di} di$$

$$P(1) = - \frac{1}{0.316} [v(2) - v(1)]$$

$$P(1) = - \frac{1}{0.316} [-0.0351] = 0.1111$$

Para el caso de  $i = 7$  se tiene

$$P(7) = - \frac{1}{0.316} \int_7^8 \frac{dv(i)}{di} di$$

$$P(7) = - \frac{1}{0.316} [v(8) - v(7)]$$

$$P(7) = - \frac{1}{0.316} [0] = 0$$

El peligro queda de la siguiente manera:

Intensidad i	Categoría	P(i)
1	DT	0.1111
2	TT	0.3333
3	H1	0.3889
4	H2	0.0556
5	H3	0.0556
6	H4	0.0556
7	H5	0
8	-	0
$\Sigma$		1

### 2.3.1.4 Periodo de retorno

El periodo de retorno se define como el promedio de tiempo en que vuelve a ocurrir la excedencia de cierta intensidad i. Podemos obtener este promedio a través del cálculo del recíproco de la tasa de excedencia, entonces

$$Tr(i) = \frac{1}{v(i)} \quad (2.10)$$

Para nuestro caso tenemos los siguientes resultados

Tabla 2.4: Periodos de retorno

Intensidad i	Tr(i) (años)
1	3.2
2	3.6
3	5.7
4	19.0
5	28.5
6	57.0
7	-

Hay que recordar que el periodo de retorno es una medida de peligro que se refiere a la excedencia de la intensidad i en un tiempo determinado sin que la realización del fenómeno llegue a un fin, es decir, al momento de llegar a la intensidad i no implica que esta intensidad alcanzada sea la máxima alcanzada por el evento y que pueda seguir avanzando.

Por otro lado, la función de peligro nos proporciona información acerca de la intensidad máxima que puede llegar a desarrollar un fenómeno.

Por ello, para obtener una medida del peligro que nos dé información acerca del tiempo de ocurrencia del fenómeno y su máxima intensidad potencial se deben de operar tanto el peligro como la probabilidad de excedencia en un lapso T.

De esta forma se tiene que el peligro durante un determinado periodo de tiempo es:

$$P(i)_{anual} = Pe(i, T) * P(i) \quad (2.11)$$

El valor T y la intensidad i pueden ir variando dependiendo del peligro que se requiera evaluar.

### 2.3.1.5 Vulnerabilidad

A continuación se presenta la escala Saffir-Simpson que proporciona una ligera idea de los daños que puede ocasionar la ocurrencia de un ciclón tropical en cierta región.

Tabla 2.3: Escala Saffir – Simpson<sup>5</sup>

Intensidad	Descripción de posibles daños
OT - Onda Tropical	Una máxima curvatura ciclónica sumergida en la profunda corriente de los alisios del este; se desplaza al oeste, con tendencia a formar circulación de baja presión.
PT - Perturbación tropical	Un sistema separado de convección bien organizada, que se origina en los trópicos o subtropicos, que tiene carácter migratorio no frontal y que conserva su identidad, por lo menos 24 h.
DT - Depresión Tropical – 63 km/h	Un ciclón tropical con circulación del viento en superficie, en sentido contrario de las manecillas del reloj, con velocidades máximas de 62 km/h.
TT - Tormenta tropical – 63 – 118 km/h	Un ciclón tropical bien organizado, de núcleo caliente, en el que el viento en máximo en superficie es de una intensidad de 63 a 117 km/h. Este tipo de ciclones son capaces de ocasionar algunos daños.
Huracán Categoría I - 118 - 153 Km/h	Sin daños en las estructuras de los edificios. Daños básicamente en casas flotantes no amarradas, arbustos y árboles. Inundaciones en zonas costeras y daños de poco alcance en puertos.
Huracán Categoría II – 153 - 177 Km/h	Daños en tejados, puertas y ventanas. Importantes daños en la vegetación, casas móviles, etc. Inundaciones en puertos así como ruptura de pequeños amarres.
Huracán Categoría III – 178 - 209 Km/h	Daños estructurales en edificios pequeños. Destrucción de casas móviles. Las inundaciones destruyen edificaciones pequeñas en zonas costeras y objetos a la deriva pueden causar daños en edificios mayores. Posibilidad de inundaciones tierra adentro.
Huracán Categoría IV - 210 - 249 Km/h	Daños generalizados en estructuras protectoras, desplome de tejados en edificios pequeños. Alta erosión de bancales y playas. Inundaciones en terrenos interiores.
Huracán Categoría V - 249 Km/h + ...	Destrucción de tejados completa en algunos edificios. Las inundaciones pueden llegar a las plantas bajas de los edificios cercanos a la costa. Puede ser requerida la evacuación masiva de áreas residenciales.

Como se puede observar, la escala presenta un análisis cualitativo de los daños posibles, sin embargo, aunque en algunos casos este análisis puede ser muy útil, es mejor realizar un estudio detallado de los daños mediante funciones de vulnerabilidad para los diferentes agentes posibles de resultar afectados.

Para nuestro caso, analizaremos la vulnerabilidad de una vivienda hecha con muros de tabique con refuerzo tradicional de varilla. Su ubicación es en una planicie, un campo abierto, un litoral o un promontorio. Los porcentajes de vulnerabilidad se obtuvieron de

<sup>5</sup> Fascículo Ciclones Tropicales. Martín Jiménez Espinosa, Lucía Guadalupe Matías Ramírez, Óscar A. Fuentes Mariles, Ricardo Prieto González. Serie Fascículos. 1ª Edición, CENAPRED, México. 2003.

la “Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Evaluación de la vulnerabilidad física y social” desarrollada por el CENAPRED. En la tabla 2.3 se tiene la vulnerabilidad.

Tabla 2.3: Porcentaje de daño por viento  
(Fuente: CENAPRED<sup>6</sup>)

Velocidad (Km/h)	Vulnerabilidad	Intensidad Saffir Simpson
50	0.0002	DT
60	0.0006	TT
70	0.0016	
80	0.0042	
90	0.0095	
100	0.0198	
110	0.0382	
120	0.0692	
130	0.1179	H1
140	0.1901	
150	0.2895	
160	0.4154	H2
170	0.5599	
180	0.7061	
190	0.8327	H3
200	0.9227	
210	0.9727	H4
220	0.9932	
230	0.9989	
240	0.9999	
250	1	
Mayor a 250	1	H5

Puesto que es necesario contar con el mismo número de categorías por intensidad que las que se usaron para calcular el peligro, entonces he obtenido los promedios de vulnerabilidad por velocidades de viento contenidas en cada intensidad Saffir-Simpson, ver Tabla 2.4.

Tabla 2.4: Función de vulnerabilidad  
(Fuente: Elaboración propia)

Intensidad i	Categoría	Vulnerabilidad
--------------	-----------	----------------

<sup>6</sup> Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos (Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social). Leonardo Flores Corona, Oscar López Bátiz, Miguel Ángel Pacheco Martínez, Carlos Reyes Salinas, Darío Rivera Vargas, Norlang García Arróliga, Rafael Marín Cambranis, Karla Méndez Estrada. CENAPRED, México. 2006. Pág. 67, Caso 8.

1	DT	0.0002
2	TT	0.0204
3	H1	0.1992
4	H2	0.5605
5	H3	0.8777
6	H4	0.9929
7	H5	1

## 2.3.1.5 Riesgo

### 2.3.1.5.1 Riesgo ante el próximo evento

El riesgo ante el próximo evento es la suma de los asociados a los diferentes niveles de intensidad. De la ecuación (3) sumamos los riesgos para cada intensidad y tomando a  $C=\$1.00$ , tenemos que:

$$R_p = \sum_{i=1}^7 P(i)V(i) = \$0.2195$$

### 2.3.1.5.2 Riesgo anual

Ahora bien, si se desea obtener el riesgo anual, se deberá multiplicar la ecuación de riesgo por el valor esperado de huracanes que ocurren al año, que para este caso es 0.316.

$$R_a = v(1)(R_p) = v(1) \left( C \sum_{i=1}^n P(i)V(i) \right) \quad (2.12)$$

Tomando a  $C=\$1.00$ , tenemos que

$$R_a = 0.316 \sum_{i=1}^7 P(i)V(i) = \$0.7023$$

El valor anterior se interpreta como la pérdida anual en daños por ciclones tropicales. Hay que observar que el ejemplo toma el caso de una vivienda con características particulares que aumentan su vulnerabilidad.

A continuación, se deja la Tabla 2.5 con todos los cálculos.

Tabla 2.5: Cálculos para evaluar el riesgo

Intensidad i	Categoría	P(i)	Tr(i) (años)	V(i)	R(i)
1	DT	0.1111	3.2	0.0002	0.00002
2	TT	0.3333	3.6	0.0204	0.00681

3	H1	0.3889	5.7	0.1992	0.07746
4	H2	0.0556	19	0.5605	0.03116
5	H3	0.0556	28.5	0.8777	0.04880
6	H4	0.0556	57	0.9929	0.05521
7	H5	0	-	1	0
8	-	0	-	1	0
				<b>Riesgo</b>	<b>0.2195</b>
				<b>Riego anual</b>	<b>0.7023</b>

Una nota importante es que este modelo de riesgo se encuentra evaluando sólo una causa de la ocurrencia de un ciclón que es el viento, sin embargo, también la vivienda puede sufrir el embate de la lluvia o de marea de tormenta, sobre todo si se encuentra cercana a la costa.

### 2.6.2. Escenarios de peligro, vulnerabilidad y riesgo

La forma más común de representar escenarios de peligro y riesgos por fenómenos naturales es a través de mapas que representen geográficamente la distribución del peligro o riesgo.

Mediante el uso de un Sistema de Información Geográfico (SIG), el CENAPRED realizó mapas de peligro por velocidad de viento de los ciclones tropicales aplicando la metodología de evaluación del peligro expuesta anteriormente en la República Mexicana. Se utilizó el modelo geoestadístico Kriging que es una técnica de interpolación, este modelo estriba en el conocimiento del comportamiento de las variables en el espacio, en este caso del peligro. Se cuenta con un mapa para cada intensidad, y uno para el número total de ciclones. Los mapas se pueden ver en el Anexo I. Agradezco al área de riesgos Hidrometeorológicos del CENAPRED por facilitarme este material.

Mediante el conocimiento espacial de las probabilidades y del número de ocurrencia de ciclones, prácticamente se puede evaluar cualquier región de la república mexicana.

Para obtener las probabilidades para un punto específico, se debe usar el mapa correspondiente a la categoría de cada intensidad, y realizar una estimación visual de la probabilidad conforme a las líneas de igual probabilidad, y con los valores leídos formar una tabla como se muestra a continuación:

Tabla 2.6: Ejemplo de valores de probabilidad

Categoría	P(i) leído
DT	0.4
TT	0.4

H1	0.2
H2	0
H3	0
H4	0
H5	0

En este caso, la probabilidad de que ocurra una depresión tropical es 0.35; también podemos observar que la probabilidad de que se presente un huracán de los tipos 3, 4 y 5 es cero, lo cual quiere decir que en el punto analizado no se han registrado eventos de este tipo. Ahora se obtiene el número total de ciclones tropicales para el punto analizado, usando el mapa de interpolaciones de eventos totales. Nuevamente hay que realizar una estimación visual del dato.

Mediante el conocimiento de estos datos, podemos obtener una función de peligro, la tasa de excedencia de los eventos y los periodos de retorno para cada una de las intensidades de los ciclones tropicales en los puntos que analicemos.

Con el fin de simplificar los cálculos se ha elaborado un algoritmo en Microsoft Excel, (ver Anexo II) los datos se ingresan en una hoja y a continuación se realizan los cálculos necesarios automáticamente. Como el periodo de registro de ciclones tropicales es diferente para el Atlántico y el Pacífico cambia el parámetro de años de registros, por lo que se realizaron dos hojas respectivamente. Si se analiza un punto en la costa del océano Pacífico, se debe trabajar en la hoja con el nombre “Pacífico” (figura 2.8).

Figura 2.8: Hoja correspondiente a la costa del Pacífico  
(Fuente: CENAPRED)

Costa del Pacífico								
Cálculo del periodo de retorno								
Tipo	Intensidad	P(i) Inter.	P(i) Ajustada	P(i) Acum.	Eventos por tipo	$\mu(i)$ total	$\mu(i)$ anual	Tr(i)
DT	1	0.4	0.400	0.4000	1.6	4.00	0.0702	14.25
TT	2	0.4	0.400	0.8000	1.6	2.40	0.0421	23.75
H1	3	0.2	0.200	1.0000	0.8	0.80	0.0140	57.00
H2	4	0	0.000	1.0000	0	0.00	0.0000	-
H3	5	0	0.000	1.0000	0	0.00	0.0000	-
H4	6	0	0.000	1.0000	0	0.00	0.0000	-
H5	7	0	0.000	1.0000	0	0.00	0.0000	-
-	8	0	0	1.0000	0	0.00	0.0000	-
	Suma	1		-	4		-	

Pegar valores en las celdas de fondo gris.

Número Total de ciclones	4	Años del periodo	57
--------------------------	---	------------------	----

Grado de confianza de la estimación de probabilidad  
**BUENO**

Se deberá ingresar los datos en las celdas con fondo gris. Inmediatamente que se hayan ingresado, aparecerá el periodo de retorno Tr correspondiente a cada intensidad. Es importante señalar que la suma de las probabilidades que se están insertando debe ser casi 1, de lo contrario puede haber errores en los cálculos. El grado de aceptación nos expresa qué tan bueno es el estimado de la función de probabilidad que estamos ingresando.

Si el punto que estamos analizando se encuentra en la costa del golfo de México o del mar Caribe, los cálculos se deben realizar en la Hoja con nombre “Costa del Golfo de México y Mar Caribe” (Figura 2.9).

Figura 2.9: Hoja correspondiente a la costa del Atlántico  
(Fuente: CENAPRED)



Costa del Golfo de México y Mar Caribe								
Cálculo del periodo de retorno								
Tipo	Intensidad	P(i) Inter	P(i) Ajustada	P(i) Acum.	Eventos por tipo	$\mu(i)$ total	$\mu(i)$ anual	Tr(i)
DT	1	0.4	0.400	0.4000	1.6	4.00	0.0258	38.75
TT	2	0.4	0.400	0.8000	1.6	2.40	0.0155	64.58
H1	3	0.2	0.200	1.0000	0.8	0.80	0.0052	155.00
H2	4	0	0.000	1.0000	0	0.00	0.0000	-
H3	5	0	0.000	1.0000	0	0.00	0.0000	-
H4	6	0	0.000	1.0000	0	0.00	0.0000	-
H5	7	0	0.000	1.0000	0	0.00	0.0000	-
-	8	0	0	1.0000	0	0.00	0.0000	-
Suma		1		-	4		-	

Pegar valores en las celdas de fondo gris.

Número Total de ciclones	4	Años del periodo	155
--------------------------	---	------------------	-----

Grado de confianza de la estimación de probabilidad  
**BUENO**

La probabilidad de que ocurra una tormenta tropical o un huracán en una zona de interés de la costa de la República Mexicana se obtiene de las figuras 2.6.1 a 2.6.7. En ellas se consignan las probabilidades de que se presente en un año cualquier depresión tropical (DT), tormenta tropical (TT) y huracanes categoría 1 a la 5 (H1, H2, H3, H4 y H5). Sin embargo, se debe corregirlas mediante las hojas de Excel, las cuales se pueden leer en la columna P(i) Ajustada, éstas son las que se utilizarán para el cálculo de riesgo. En tanto en la figura 2.7 aparece el número total de ciclones tropicales. El ajuste de las probabilidades se realiza suavizando los datos mediante la división de cada una de las probabilidades por intensidad por la suma de éstas. El grado de confianza se obtiene dando un máximo de error de .4 a la suma de las probabilidades obtenidas visualmente.

Por supuesto que en este caso se realizó el desarrollo en el paquete MS Excel, pero si se conoce la metodología de evaluación del peligro entonces se puede usar cualquier otro software y lenguaje de programación.

La evaluación del riesgo implica el conocimiento de la vulnerabilidad, por lo que también deberá evaluarse esta última, sin embargo para lograrlo se necesita conocer a fondo las características de las zonas susceptibles a ser afectadas por un ciclón.

En el caso de los mapas de riesgo, aún no se han efectuado estudios en el CENAPRED que permitan realizarlos para ciclones en México, muy debido también a que los ciclones implican más de una posible causa de afectación diferente al viento.

## Capítulo 3: Evaluación del riesgo por inundaciones

### 3.1 Efectos y amenazas

Por causas naturales, el ser humano necesita establecer sus asentamientos en lugares donde el agua pueda ser adquirida lo más prácticamente posible. De hecho, las primeras grandes civilizaciones se establecieron cercanas a los ríos. En Mesopotamia, conocida como la cuna de la civilización, surgieron algunos de los primeros asentamientos del mundo. Mesopotamia, cuyo nombre se deriva de la palabra griega que significa ‘entre dos ríos’, abarcaba el área entre los ríos Tigris y Éufrates. La civilización sumeria, que surgió en la región aproximadamente en el año 3250 a.C., construyó un sistema de canales y las primeras ciudades del mundo. La cultura Egipcia que también fue una de las primeras grandes civilizaciones se desarrolló entorno al río Nilo, de hecho, las inundaciones les resultaban muy útiles a los egipcios, pues la crecida del río Nilo era, sin duda, el acontecimiento más importante en el mundo agrícola egipcio. La inundación de los terrenos próximos al cauce provocaba el depósito sobre el terreno, anteriormente empobrecido, de los minerales en suspensión que había en sus aguas. En su retirada, las aguas dejaban un terreno fértil y dispuesto para la siembra. Las inundaciones conllevan consecuencias de orden económico. Mediante la construcción de diques y canales era posible que la acción humana extendiera los efectos beneficiosos de la crecida.

Con lo anterior, se puede observar el gran beneficio que implica contar con recursos acuíferos, sin embargo, el desarrollo de asentamientos humanos en las zonas aledañas a los cuerpos de agua trajo consigo amenazas. Por ejemplo, cuando se desbordaba una corriente se hacían inundaciones que dañaban las actividades de los pueblos cercanos mostrando que en el futuro podrían repetirse tales sucesos, es por eso que tanto en Mesopotamia como en Egipto, se construyeron importantes defensas fluviales como diques y canales para desviar las aguas y mejorar los cauces en los entornos urbanos.

Las obras hidráulicas como diques, presas y acueductos se desarrollaron también en Grecia y Roma, tanto para obtener agua para el consumo y la agricultura, como para evitar los riesgos que conllevaban sus asentamientos en entornos vulnerables.

Las inundaciones son naturales y esenciales para la salud de las cuencas hidrográficas, pero pueden ser también destructivas. Las civilizaciones antiguas concebían a las inundaciones como un elemento natural y en lugar de buscar interferir con este fenómeno preferían adaptarse a sus corrientes construyendo sus asentamientos en zonas donde no fueran afectados.

Con el aumento de los descubrimientos científicos y tecnológicos, las formas de manejar los recursos acuíferos fueron cambiando dando más utilidades al agua como la generación de presas hidroeléctricas.

Aunque se han dado muchos avances, también han aumentado el establecimiento de asentamientos humanos en zonas amenazadas por inundaciones. Lo anterior puede deberse al crecimiento industrial y demográfico combinado con la falta de planeación adecuada para evitar posibles daños por inundaciones.

Las inundaciones tienen efectos considerables durante y después de ocurrir. Si la inundación se realiza de forma rápida, la gente tendrá poca oportunidad de salvar sus pertenencias, incluso su vida. Si la inundación se realiza lentamente, existe mayor posibilidad de mitigar los daños materiales. En ambos casos, las estructuras sufrirán daños importantes dependiendo del material con que están hechas. Entre los efectos primarios y secundarios de las inundaciones se encuentran los siguientes:

- Arrastre de sólidos.
- Extensas áreas cubiertas por agua.
- Intensa erosión.
- Proliferación de microorganismos.
- Viviendas dañadas.
- Interrupción de vías de comunicación.
- Pérdida de vidas.
- Pérdida de cosechas.
- Depósito de sedimentos.

Asimismo, las inundaciones dejan un conjunto de efectos secundarios:

- Enfermedades transmisibles.
- Escasez de alimentos.
- Problemas de eliminación de desechos (sólidos y líquidos).
- Contaminación del agua potable.

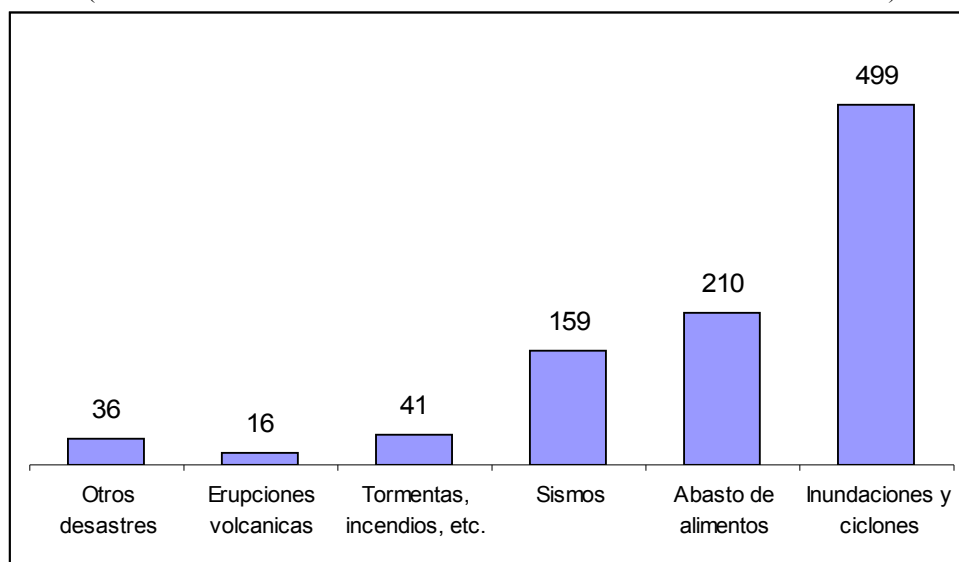
Conforme a la base de datos internacional EM-DAT, han ocurrido 3092 inundaciones significativas en el mundo durante el periodo comprendido entre 1900 y 2007, dejando un saldo de 6,899,295 muertes, 2,786,794,665 afectados y daños por 366,038,251 millones de dólares. Se cree que los números pueden ser mayores pues existen eventos que no se llegan a registrar en esta base de datos.

Tabla 3.1 Resumen de inundaciones ocurridas de 1900 a 2007 ordenado por continente  
(Fuente: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database)

	Número de eventos	Muertos	Heridos	Viviendas afectadas	Afectados	Total de afectados	Daño en dólares americanos. (000's)
África	547	20725	22680	4730984	36907801	41661465	4296148
<i>Promedio por evento</i>		38	42	8649	67473	76164	7854
América	762	100937	41870	3324944	50175296	53542110	61850014
<i>Promedio por evento</i>		133	55	4363	65847	70265	81168
Asia	1286	6769133	1200818	103945138	2688123085	2793269041	209261319
<i>Promedio por evento</i>		5264	934	80828	2090298	2172060	162723
Europa	398	8130	21644	1876776	11122744	13021164	87984342
<i>Promedio por evento</i>		20	54	4716	27947	32717	221066
Oceanía	99	370	91	107400	465739	573230	2646428
<i>Promedio por evento</i>		4	1	1085	4704	5790	26732

Actualmente, las inundaciones son el desastre que ha aumentado con más rapidez en el mundo. Un dato interesante acerca de esto es que la Cruz Roja Internacional ha participado en más eventos relacionados a inundaciones que de otro tipo de desastres. En el gráfico 3.1 se puede observar el número de eventos en los que ha participado este organismo en el periodo comprendido entre 1919 y 2004.

Gráfico 3.1. Eventos en los que ha participado la Cruz Roja Internacional  
(Fuente: International Federation Of Red Cross and Red Crescent Societies)



Realizando una estimación de las víctimas en México a causa de los desastres por fenómenos hidrometeorológicos durante el periodo de 1980 a 1999 se tiene como resultado 2,767 personas fallecidas, y la cantidad estimada de daños totales fue de 4,537 millones de dólares.<sup>1</sup> Las pérdidas cuantificadas en el año 2005 por fenómenos hidrometeorológicos superan por mucho lo ocurrido desde el 2000. Si tomamos el periodo y sumamos el acumulado de pérdidas de los años 2000 a 2005, cerca del 70% de los daños y el 27% de las muertes por desastres de origen hidrometeorológico sucedieron en este último (ver Tabla 3.2).<sup>2</sup> Tomando en cuenta tan solo los desastres por inundaciones, se tiene un estimado de 326,872 personas afectadas por un conteo de habitantes afectados en sus viviendas, personas en albergues y número de fallecidos (ver Tabla 3.2).

Tabla 3.2 Acumulado de fenómenos hidrometeorológicos en el periodo 2000–2005 (Fuente: CENAPRED)

Año	Muertos	Porcentaje muertes	Total de daños (Millones de pesos)	Porcentaje daños
2000	9	1.2	2,019.60	3.1
2001	163	22	2,416.80	3.7
2002	123	16.6	10,952.00	16.7
2003	138	18.6	4,267.80	6.5
2004	104	14.1	714.7	1.1
2005	203	27.4	45,096.00	68.9
Total	740	100	65,466.90	100

<sup>1</sup> Fascículo Inundaciones. Marco Antonio Salas Salinas y Martín Jiménez Espinosa. CENAPRED. México. 2004. Pág. 3.

<sup>2</sup> Serie. Impacto Socioeconómico de los desastres en México. Volumen 7, CENAPRED. México. 2006. Pág. 15.

En cuestiones de vivienda, se tiene que fueron un total de 69725 de éstas afectadas ya sea con daños totales o parciales durante 2005. El municipio más afectado fue el de Mazatán en Chiapas, con un 90.41% del total de sus viviendas afectadas.

Tabla 3.3 Afectados durante el año 2005 sólo por inundaciones.  
(Fuente: CENAPRED)

Habitantes afectados en sus viviendas	Personas en albergues	Muertos
321144	5720	8

Como se puede observar, las inundaciones son fenómenos frecuentes que pueden ocasionar mucho daño a las actividades humanas, por ello resulta necesario conocer las causas que originan este fenómeno, además de tener métodos de medición que permitan tomar decisiones para mitigar sus efectos.

El comportamiento del agua en áreas urbanas y áreas rurales es diferente. En la naturaleza el agua se infiltra por la permeabilidad del suelo, rocas y vegetación. En áreas urbanas, el proceso no es igual ya que el pavimento origina más escurrimiento y la posible infiltración del agua por drenajes. Por lo anterior, se puede ver que las causas de las inundaciones pueden variar de un lugar a otro dependiendo de las situaciones de cada uno.

### 3.2 Causas de las inundaciones

Se necesita un incremento en el nivel del agua para que se dé una inundación, por lo que los eventos capaces de ocasionar este incremento son precipitaciones, oleaje, marea de tormenta, o la falla de alguna estructura hidráulica. A continuación se hace una breve descripción de cada una de las causas mencionadas.<sup>3</sup>

#### Precipitaciones

Las precipitaciones pueden ser ocasionadas por:

- **Ciclones Tropicales.** Este fenómeno asocia lluvias intensas en cualquiera de sus magnitudes, ocurren principalmente en el semicírculo derecho y pueden extenderse a grandes distancias de su región central. En huracanes muy simétricos, la lluvia suele concentrarse cerca de su centro y en todas direcciones. Habitualmente el ciclón que presenta una larga duración en tierra, está acompañado por una fuerte divergencia de los vientos en la parte superior ocasionando gran humedad. Mientras más tiempo se mantenga el ciclón en tierra, se espera una mayor cantidad de lluvia. Si el fenómeno se estaciona o se mueve con lentitud, en la proximidad del continente o después de impactar a éste, la ocurrencia de núcleos de lluvia fuerte sobre un mismo lugar puede aumentar. En determinadas condiciones la cantidad de vapor de agua que ingresa en los niveles bajos del ciclón tropical es más grande, por lo que al entrar a tierra ocurren lluvias fuertes. La configuración de la línea de costa, las montañas y las islas son elementos fundamentales sobre la estructura del sistema ciclónico. Ello se debe a la fricción que ejerce y reduce la velocidad de desplazamiento del ciclón. Por otra parte, los movimientos ascendentes y la diferencia de los flujos superficiales de calor y humedad, durante su paso a

<sup>3</sup> Fascículo Inundaciones. Marco Antonio Salas Salinas y Martín Jiménez Espinosa. CENAPRED. México. 2004.

través de las montañas incrementan la cantidad de lluvia. En algunas ocasiones, los ciclones tropicales producen lluvias muy intensas, en cambio otros pueden pasar rápidamente y atravesar una región sin causar precipitaciones fuertes. Esto dificulta relacionar la cantidad de lluvia con la intensidad del ciclón tropical.

- **Cadenas montañosas (Orografía).** Son debidas a un obstáculo montañoso que obliga al aire a elevarse, esto origina la condensación del vapor de agua y la formación de nubes en la vertiente montañoso expuesta al viento.
- **Frentes fríos.** Ocurren cuando una masa de aire más frío se acerca a una masa de aire más caliente. El aire frío, siendo más denso, genera una "cuña" por debajo del aire cálido y menos denso, levantándolo y, finalmente, alcanzándolo. Los frentes fríos se mueven rápidamente. Son fuertes y pueden causar perturbaciones atmosféricas tales como relámpagos, lluvias intensas, tornados, vientos fuertes y cortas tempestades de nieve antes del paso del frente frío, acompañadas de condiciones secas a medida de que el frente avanza.
- **Convectividad.** Las lluvias ocasionadas por este fenómeno tienen su origen en el calentamiento de la superficie terrestre. Algunas áreas de la superficie absorben mejor que otras los rayos solares, entonces el aire en contacto con estas zonas llega a calentarse más que en los alrededores, lo que da lugar a corrientes verticales de aire ocasionando que ascienda el aire caliente húmedo. Al momento en que estas corrientes llegan a la capa de la troposfera, se enfrían rápidamente, produciéndose la condensación del vapor de agua propiciando la formación de nubes densas.

### **La marea de tormenta**

Ocurre por la disminución de la presión atmosférica en el centro del ciclón tropical y por los vientos ocasionados sobre la superficie del mar originando un ascenso del nivel medio del mar. La marea de tormenta puede provocar inundaciones en las zonas bajas continentales cercanas al mar y que las olas impacten sobre estructuras costeras. Cuando al ascenso y descenso diario del nivel del mar, producto de la marea ordinaria (astronómica), se combina con la de tormenta. Cuando el ciclón se ha alejado, el nivel del mar desciende y se restablecen las condiciones normales en el océano. La marea de tormenta es más intensa cuando los vientos se dirigen hacia la costa y los vientos del ciclón tropical que tienen dirección de tierra al océano producen un descenso del nivel medio del mar.

### **Oleaje**

El oleaje en el océano puede ser causado por diferentes tipos de factores, desde el paso de embarcaciones hasta fenómenos tales como tsunamis o derrumbes submarinos. Sin embargo, la causa más común del oleaje es el viento. La altura del oleaje se define como la distancia vertical que existe entre el punto más alto de la ola (cresta) y su punto más bajo (valle). Los factores que determinan la altura del oleaje son la fuerza del viento, la distancia que mantiene ese viento y su duración.

### **Fallas en estructuras hidráulicas**

Las inundaciones causadas por este tipo de fallas pueden ser más desastrosas que en los casos anteriores. La razón de esto es porque estos errores pueden maximizar la concentración de agua. Las principales causas de fallas en estructuras hidráulicas son la excedencia de capacidad de transportar agua, un mal diseño o el fin de su vida útil, y la mala operación para el caso de presas con compuertas.

Además de las causas anteriores cabe mencionar que la degradación del medio ambiente, tal como la deforestación, erosión, etc., modifica la respuesta hidrológica de las cuencas, incrementando la ocurrencia y la magnitud de las inundaciones.

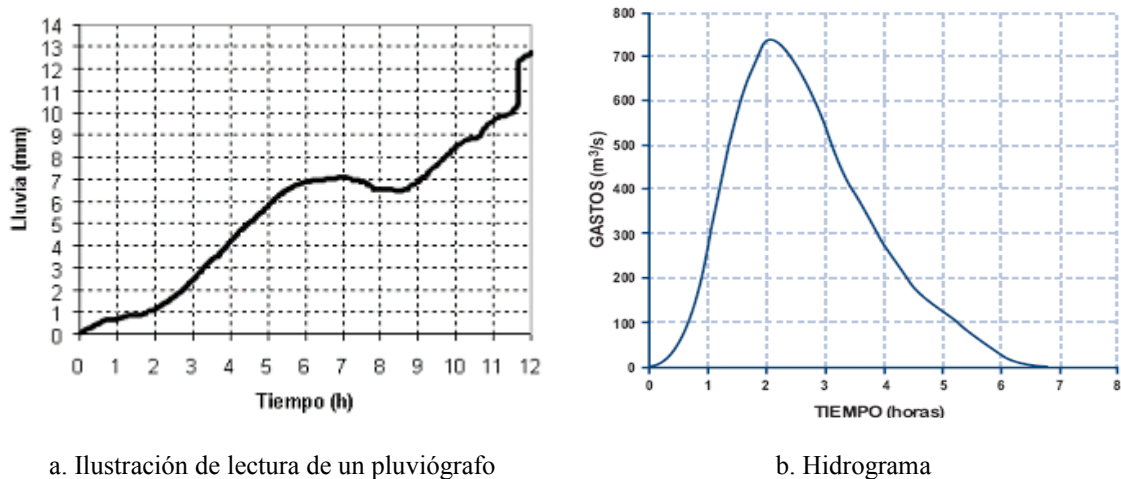
### **3.3 Medición**

A continuación se presentan algunos conceptos de la terminología propia de las inundaciones que servirán para identificar los factores que intervienen en la forma en que se mide la intensidad de una inundación. Las definiciones han sido tomadas del Fascículo de Inundaciones publicado por el CENAPRED.

- **Avenida.** Una elevación rápida y habitualmente breve del nivel del agua en un río o arroyo hasta un máximo desde el cual dicho nivel desciende a menor velocidad.
- **Cuenca.** Zona de la superficie terrestre donde las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. En la realidad, no toda el agua llega al punto de salida, cierta cantidad del volumen de lluvia es absorbido por el suelo, forma charcos, o queda sobre la vegetación, y otra parte escurre hacia ríos y arroyos. El área de una cuenca se expresa en km<sup>2</sup>.
- **Gasto.** Es la cantidad de escurrimiento que pasa por un sitio determinado en un cierto periodo de tiempo. Para expresar el gasto, las unidades usadas son metros cúbicos por segundo. El gasto es muy usado para cuantificar el potencial de agua que pueden tener los ríos.
- **Lámina de precipitación.** Es la altura de la lluvia en alguna parte de la cuenca. Sirve para conocer el volumen de agua que cayó en un área o subárea. En México es común expresar en mm pero en Estados Unidos se hace en pulgadas. Los aparatos que realizan este tipo de medición son el pluviómetro o el pluviógrafo. El tiempo en el que se realizan estas mediciones son generalmente menores a un día.
- **Intensidad de precipitación.** Es la cantidad de lluvia que cae en cierto tiempo (altura de precipitación por unidad de tiempo). Las unidades con que se mide esta intensidad son mm/h, mm/día, etc. El pluviógrafo es el mejor instrumento para llevar a cabo el registro de lluvia, ya que al medir la intensidad de ésta, es posible saber cuándo y cuánto llovió en cada instante, durante una tormenta (ver Figura 3.1.a). Otra forma de medir la intensidad de la lluvia es mediante el radar meteorológico, que además brinda información referente a la distribución espacial de la intensidad de lluvia.

- **Tirante.** Elevación de la superficie del agua sobre un punto del terreno.
- **Hietograma.** Es una gráfica de barras que muestra la variación de la altura de la intensidad de la precipitación en intervalos de tiempo, usualmente de una hora. Los registros son tomados de un pluviógrafo.
- **Hidrograma.** Es la representación gráfica de la variación continua del gasto en el tiempo. Para cada punto del Hidrograma se conoce el gasto que está pasando en el sitio de medición. El área bajo la curva de esta gráfica es el volumen de agua que ha escurrido durante el lapso entre dos instantes (ver Figura 3.1.b).
- **Periodo de retorno ( $T_r$ ).** Es el tiempo que en promedio debe pasar para que ocurra un evento igual o mayor a una cierta intensidad. Es generalmente expresado en años, sin embargo, nadie puede asegurar que ese evento no sucederá exactamente en el número de años que indica el periodo de retorno, ya que este puede ocurrir el próximo o dentro del periodo especificado. En el sentido hidrológico, puede ser entendido como el número de años en que se espera que se repita un cierto gasto, una lámina de precipitación o tirante.

Figura 3.1



Como se puede observar, estos conceptos están muy enfocados hacia las inundaciones ocasionadas por precipitación, esto es porque actualmente se cuenta con más instrumentación en este ámbito.

En México existen dos formas de instrumentación para medir la precipitación. La primera es con estaciones climatológicas que miden el nivel de lluvia alcanzado durante el día hasta cierta hora, esto implica conocer tan solo el valor máximo de precipitación.

La segunda forma es a través de pluviógrafos que llevan un registro continuo en el tiempo de la cantidad de lluvia. A simples rasgos se ve que la medición realizada por los pluviógrafos resulta de mayor utilidad que la de un pluviómetro, esto es porque el segundo registra sólo el nivel máximo de lluvia durante un periodo de tiempo, mientras que el primero los registra todo continuamente.



### 3.4 Peligro

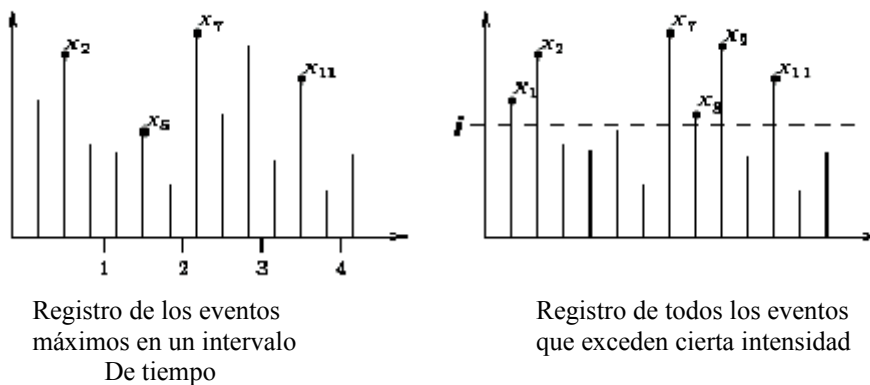
Para el análisis del peligro este trabajo se enfoca en las inundaciones ocasionadas por precipitación.

Para efectos de medición estadística de los daños por inundaciones, se observa que el tirante o gasto relacionado con un periodo de retorno para eventos que exceden cierto nivel de precipitación, son variables adecuadas para llevar a cabo un análisis de frecuencias de eventos capaces de causar daño.

Desgraciadamente, no se cuenta con la instrumentación suficiente para conocer el número total de eventos con cierto tirante relacionados a cierta precipitación.

En la Figura 3.2 se observan las desventajas que muestra tomar medidas solamente de eventos máximos durante cierto intervalo de tiempo. En la parte izquierda de la figura se muestra sólo el registro de 4 eventos  $x_2$ ,  $x_5$ ,  $x_7$  y  $x_{11}$  durante los periodos 1, 2, 3 y 4 desechándose registros que resultan necesarios para obtener un buen modelo de probabilidad obtenido a través de frecuencias, la estadística hidrológica usa el registro de máximos de lluvia anual; desafortunadamente, con el uso de solo estos registros máximos se pierden muchos eventos que también pudieron haber causado daños. Mientras que en la parte derecha se muestra el registro de todos los eventos ocurridos que excedieron la intensidad  $i$ , que es la intensidad mínima que causa daño, obteniéndose un registro más detallado de la naturaleza de la frecuencia de eventos dañinos. Un ejemplo de este tipo de registros es la VMS de ciclones tropicales, pues se cuentan el número total de eventos, y no solamente los de máxima intensidad alcanzada en un periodo de tiempo.

Figura 3.2: Registro de eventos con intensidad máxima<sup>4</sup>



Una causa de usar los máximos anuales puede ser que muchas veces es el único dato con el que se cuenta para ciertas regiones.

<sup>4</sup> An Application of Extreme Value Theory for Measuring Risk, Manfred Gilli, Evis Këllezi, Department of Econometrics, University of Geneva and FAME CH-1211 Geneva 4, Switzerland.

### 3.4.1 Obtención de los periodos de retorno

Una vez que se cuenta con un registro de valores máximos anuales, se procede a calcular los periodos de retorno por intensidad. La obtención de los periodos se realiza mediante la fórmula de Weibull con los datos ordenados de mayor a menor.<sup>5</sup>

$$Tr = \frac{n+1}{m} \quad (3.1)$$

Donde:

Tr = Periodo de retorno

n = Número de años de registro

m = Número de orden de mayor a menor

El periodo de retorno máximo es el número total de años de registro y será aquel que tenga mayor precipitación de toda la serie. El periodo de retorno mínimo resultará el registro con menor precipitación.

Lo anterior se encuentra sujeto al número de años con registro, sin embargo, muchas veces se necesita conocer los periodos de retorno de más años. Por conseguir esto, se realiza un análisis de los datos registrados para saber a qué distribución de probabilidad pueden ajustarse, y después interpolar hacia los periodos de retorno buscados.

Como los datos en análisis corresponden a valores máximos, se recomienda usar funciones de probabilidad de valores extremos, como la distribución Gumbel. La distribución Gumbel se utiliza para el cálculo de valores extremos de variables meteorológicas (entre ellas precipitaciones y caudales máximos) y es uno de los métodos más empleados para el estudio de las precipitaciones máximas en 24 horas.

La función Gumbel es:

$$F(x) = e^{-e^{-b}} \quad (3.2)$$

Con 
$$b = \frac{x - \mu}{\alpha} \quad (3.3)$$

Donde:

F(x) = Función de probabilidad acumulada

x = Evento hidrológico

$\alpha$  = Parámetro de ubicación

Con la distribución Gumbel se pueden obtener los periodos de retorno extrapolados porque

---

<sup>5</sup> Regionalización para el cálculo de pérdida anual por inundación, empleando el método de la avenida índice. Tesis que para obtener el título de Ingeniero Civil. José Luis Reyes Blanco. Campus Acatlán, UNAM, 1998. Pág. 48.

$$P(X \geq x) = \frac{1}{Tr} \quad (3.4)$$

De esta forma se pueden conocer los periodos de retorno correspondientes a más años.

Actualmente existen muchas críticas al método mencionado. Se han realizado propuestas de utilizar la Teoría de Valores Extremos dentro de un Enfoque Estadístico Bayesiano.

Los análisis convencionales basados en Máximos Anuales de lluvia suponiendo que siguen la distribución de Gumbel cuyos parámetros sean estimados y acoplados en la distribución como si fueran la verdad, para de allí predecir, hacen que lluvias que han ocurrido sean virtualmente imposibles.<sup>6</sup>

Hace falta comentar que se necesita relacionar la cantidad de precipitación expresada en los periodos de retorno con el tirante de agua que se puede ocasionar en cierta región específica. Para lograr lo anterior se utiliza el modelo lluvia – escurrimiento, que relaciona la cantidad de lluvia con el tirante.

Para determinar este escurrimiento se utilizará la llamada fórmula Racional, la cual es uno de los modelos de relación lluvia – escurrimiento más antiguos (1889), y probablemente todavía es uno de los más utilizados. Considera que el gasto máximo o pico (líquido) se alcanza cuando la precipitación se mantiene con una intensidad constante durante un tiempo igual al tiempo de concentración. La fórmula Racional es:

$$Q_p = 0.278 C i A \quad (3.5)$$

Donde:

- $Q_p$     gasto máximo o de pico, en m<sup>3</sup>/s.
- $C$         coeficiente de escurrimiento (usualmente entre 0.5 y 0.8, ver tabla 6.3 para zonas urbanas)
- $i$         intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, en mm/h
- $A$         área de la cuenca, en km<sup>2</sup>

Mucho se ha escrito acerca de esta forma de obtener la interpolación de periodos de retorno y el escurrimiento en una cuenca. Por lo que no nos enfocaremos en estos aspectos, de hecho, ya existen mapas de periodos de retorno de precipitación con cierta duración. Se pueden consultar los mapas impresos en el Anexo I de la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos por Fenómenos Hidrometeorológicos, publicada por el Centro Nacional de Prevención de Desastres en el año 2006. También se puede consultar la forma de cómo calcular el escurrimiento en la guía mencionada.

Como se puede observar, se requiere llevar a cabo un análisis de las condiciones de la región en aspectos hidrológicos, este trabajo debe ser llevado por expertos en el tema.

---

<sup>6</sup> ¿Pudo haber sido anticipada probabilísticamente la lluvia extrema que causó la "tragedia de Vargas"? Luis Raúl Pericchi y Stuart Coles. Acta Científica Venezolana, Vol. 54, Suplemento No. 1: 17–21, 2003.

Aunque el tirante depende de cuánto pueda llover, también depende del tipo de terreno, la forma y el área de la cuenca de la zona analizada. De esta forma, aunque llueva mucho, puede ser que no se realice una inundación, ya que no necesariamente la cuenca o el terreno favorecen a que se realice. Por otro lado, puede ocurrir lo inverso, es decir, que llueva relativamente poco, pero que las condiciones de la cuenca y el terreno favorezcan una inundación.

### 3.4.2 Cálculo del peligro a través de periodos de retorno

#### 3.4.2.1 Función periodo de retorno $Tr(i)$

Esta metodología se puede consultar en el Anexo 3 de la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos por Fenómenos Hidrometeorológicos, impresa por el CENAPRED en el 2006. Esta parte corresponde a mi aportación en la metodología con el apoyo del Dr. Martín Jiménez Espinosa, subdirector del área de riesgos hidrometeorológicos.

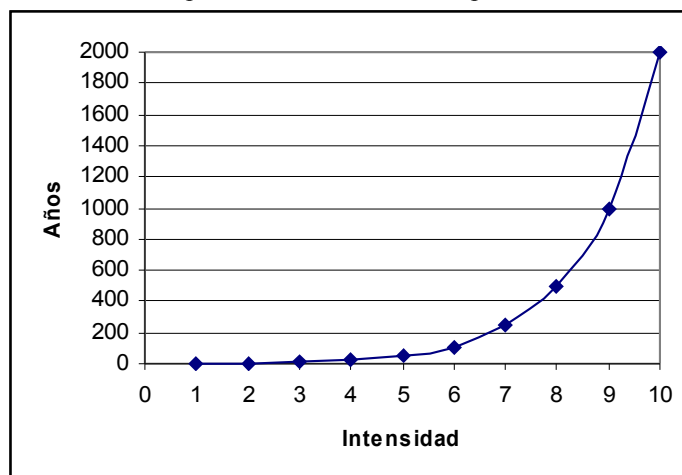
Como ya se explicó anteriormente, una forma de medir la excedencia de intensidad de un fenómeno a través del tiempo es por medio de periodos de retorno. El periodo de retorno es definido como el tiempo promedio entre las ocurrencias de un evento que excede cierta intensidad.

El periodo de retorno puede verse como la función  $Tr(i)$ , cuyo dominio son los diferentes niveles de intensidad  $i$ , y la imagen es el lapso promedio de tiempo entre ocurrencias de eventos con intensidad  $i$ , generalmente dada en años. La función  $Tr(i)$  es creciente con la intensidad, es decir, a mayor magnitud o grado de un evento, aumenta el tiempo entre excedencias.

Tabla 3.4 Periodos de retorno

Intensidad $i$	$Tr(i)$
1	2
2	5
3	10
4	25
5	50
6	100
7	250
8	500
9	1000
10	2000

Gráfico 3.2 Representación de diferentes periodos de retorno



Los periodos de retorno corresponden a eventos máximos anuales, dado que es la manera más común de trabajar con series hidrológicas.

Como ya se había mencionado anteriormente, se puede decir que la función de periodo de retorno de máximos anuales no aprovecha toda la información disponible. Es importante señalar que la varianza de las observaciones del fenómeno del cual se

obtuvieron los periodos de retorno para cada nivel de intensidad, permitirá la estimación el error de la función  $Tr(i)$ .

Si una excedencia ocurre en promedio cada  $Tr(i)$  años, entonces la probabilidad de que un evento exceda la intensidad  $i$  en cualquier año es

$$Pe = \frac{1}{Tr(i)} \quad (3.6)$$

siempre que  $Tr(i) > 1$ .

En la Tabla 3.5 se muestran las probabilidades de excedencia para cada periodo de retorno.

Tabla 3.5 Probabilidad de excedencia en un año

Intensidad $i$	$Pe(i)$
1	0.5000
2	0.2000
3	0.1000
4	0.0400
5	0.0200
6	0.0100
7	0.0040
8	0.0020
9	0.0010
10	0.0002

### 3.4.2.2 El peligro a través de periodos de retorno

A pesar de que se puede obtener la probabilidad de excedencia de intensidad de un fenómeno para un tiempo determinado por medio del periodo de retorno, ésta no resulta suficiente para medir el peligro ante la existencia de un próximo evento.

Recordemos que de (2.2), la expresión  $v(i)$  es la tasa de excedencia de intensidad  $i$ , definida como el número medio de veces en que, por unidad de tiempo ocurre un evento que excede tal intensidad. La tasa de excedencia es una función decreciente con la intensidad.

Como se podrá observar, por su definición, la función de peligro requiere de la existencia de una tasa de excedencia de intensidad, de tal forma que si solamente contamos con la información estadística de los periodos de retorno, se deberá construir la función  $v(i)$  partiendo de la función  $tr(i)$ .

Un método para obtener la tasa de excedencia de un fenómeno, partiendo de sus periodos de retorno para diferentes intensidades, consiste en realizar una proyección del número de eventos que ocurrirán en promedio durante un intervalo de tiempo.

Por ejemplo, de la tabla 1, el periodo de retorno asociado a la intensidad 1 es 2 años, es decir  $Tr(1) = 2$ , por lo que en promedio, durante los próximos dos años, la intensidad 1 será excedida una vez. Ahora bien, en los siguientes 2000 años, el número de eventos

que excederán la intensidad 1 será  $2000/2 = 1000$  eventos en promedio. Esta proyección nos da como resultado una estimación de la tasa de excedencia. En general, podremos obtener  $v(i)$  con la siguiente expresión

$$v(i) = \frac{t}{Tr(i)} \quad (3.7)$$

donde  $t$  es el número de años proyectado.

La siguiente tabla nos muestra las proyecciones del número de eventos que exceden cierta intensidad hasta 2000 años.

Tabla 3.6 Número de eventos con cierta intensidad por año

Intensidad	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6	i=7	i=8	i=9	i=10
Años/Tr(i)	2	5	10	25	50	100	250	500	1000	2000
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0
25	12	5	2	1	0	0	0	0	0	0
50	25	10	5	2	1	0	0	0	0	0
100	50	20	10	4	2	1	0	0	0	0
250	125	50	25	10	5	2	1	0	0	0
500	250	100	50	20	10	5	2	1	0	0
1000	500	200	100	40	20	10	4	2	1	0
2000	1000	400	200	80	40	20	8	4	2	1

Tomando  $t = 2000$  años de proyección, se trasladan los valores para las intensidades 1 a 10 en la siguiente tabla.

Tabla 3.7: Número de eventos por intensidad en 2000 años.

Intensidad $i$	$v(i)$
1	1000
2	400
3	200
4	80
5	40
6	20
7	8
8	4
9	2
10	1
11	0

El evento en que se excede una intensidad de 11, tiene una probabilidad igual a cero, únicamente se agrega para efectos de calcular la función de peligro, como se indica a continuación.

Usando la ecuación (2.2), obtenemos la probabilidad de excedencia  $P(i)$  de que un evento sea de intensidad  $i$ , integrando de  $i$  a  $i+1$

$$P(i) = - \frac{1}{v(1)} \int_i^{i+1} \frac{dv(i)}{di} di = - \frac{1}{v(1)} [v(i+1) - v(i)]$$

Tabla 3.8: Función de peligro

Intensidad $i$	$P(i)$
1	0.6
2	0.2
3	0.12
4	0.04
5	0.02
6	0.012
7	0.004
8	0.002
9	0.001
10	0.001
11	0

### 3.4.2.3 Comparaciones entre las funciones de peligro y periodo de retorno

¿Cuál es la relación entre la función de peligro y el periodo de retorno?

La función de peligro da la probabilidad de que un evento exceda cierta intensidad y no avance a la siguiente. El periodo de retorno proporciona el tiempo esperado entre excedencias de cierta intensidad.

Matemáticamente se tiene la siguiente expresión.

De (2.2) y (3.3) se obtiene que

$$p(i) = - \frac{1}{v(1)} \frac{dv(i)}{di} = - \frac{Tr(1)}{t} \frac{d}{di} \frac{t}{Tr(i)} = -Tr(1) \frac{dTr(i)^{-1}}{di} \quad (3.8)$$

Integrando  $p(i)$  de  $i$  a  $i+1$  se llega a

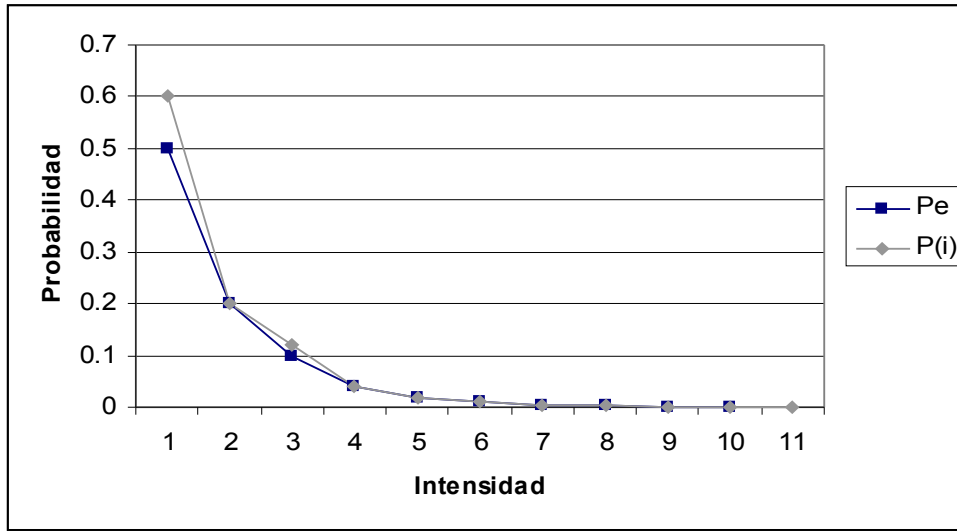
$$\begin{aligned} P(i) &= \int_i^{i+1} p(i) di = -Tr(1) \int_i^{i+1} \frac{dTr(i)^{-1}}{di} di \\ &= -Tr(1) \left[ \frac{1}{Tr(i+1)} - \frac{1}{Tr(i)} \right] = \frac{Tr(1)}{Tr(i)} - \frac{Tr(1)}{Tr(i+1)} \end{aligned} \quad (3.9)$$

La expresión (3.9) se puede interpretar como el número de eventos promedio que exceden la intensidad  $i$  al tiempo  $Tr(1)$ , que no llegaron a intensidad  $i+1$ , es decir,  $Tr(1)/Tr(i)$  es la probabilidad de que un evento exceda la intensidad  $i$  durante el tiempo  $Tr(1)$ .

De igual forma,  $Tr(1)/Tr(i+1)$  es la probabilidad de que un evento exceda la intensidad  $i+1$  durante el tiempo  $Tr(1)$ , entonces la expresión (3.6) da la probabilidad de que un evento exceda la intensidad  $i$  sin que avance a la intensidad  $i+1$  durante el tiempo  $Tr(1)$ .

En el ejemplo aquí tratado, en la tabla 3.7 y en la tabla 3.8, hemos obtenido  $Pe$  y  $P(i)$  respectivamente. En este caso, se podrá comprobar que la relación numérica de las probabilidades obtenidas para cada método tienen un estrecho parecido entre sí. El coeficiente de correlación entre  $Pe$  y  $P(i)$  es 0.997885, lo cual significa que ambas series son parecidas en un 99.78 %.

Grafico 3.3 Comparación entre P(i) y Pe



Es importante recordar las diferencias que tienen los diferentes métodos, tanto  $Pe$  como  $P(i)$  manejan un concepto diferente. El resultado de la correlación puede decirse que es muy significativo ya que se está obteniendo  $P(i)$  y  $Pe$  partiendo ambas de  $Tr(i)$ . Para nuestro ejemplo, en que  $Tr(1)=1$ , tenemos que:

$$P(i) = \frac{1}{Tr(i)} - \frac{1}{Tr(i+1)} \quad (3.10)$$

Si  $Tr(i+1)$  es un valor muy grande, de tal forma que  $1/Tr(i+1)$  converge a cero, entonces

$$\frac{1}{Tr(i)} - \frac{1}{Tr(i+1)} \approx \frac{1}{Tr(i)} \quad (3.11)$$

es decir,

$$P(i) \approx Pe$$

Se puede observar que en  $Tr(6)$  (ver tabla 3.9), la diferencia entre  $P(6)$  y  $Pe=1/Tr(6)$ , se hace más pequeña. Para  $Tr(7)$ , las probabilidades  $P(i)$  y  $Pe$  ya son iguales, sin embargo, en  $Tr(10)$ ,  $P(i)$  y  $Pe$  cambian pues  $Tr(11)$ , es decir,  $Tr(i+1)$  no existe.



Tabla 3.9: Medidas de excedencia y peligro

Intensidad $i$	$Tr(i)$	$v(i)$	$P(i)$	$Pe$
1	2	1000	0.6	0.5
2	5	400	0.2	0.2
3	10	200	0.12	0.1
4	25	80	0.04	0.04
5	50	40	0.02	0.02
6	100	20	0.012	0.01
7	250	8	0.004	0.004
8	500	4	0.002	0.002
9	1000	2	0.001	0.001
10	2000	1	0.001	0.0005
11	-	0	0	0

Aparentemente se puede usar como función de peligro  $P(i)$  la probabilidad de excedencia  $Pe$ , aunque para periodos de retorno pequeños el error es grande.

La consideración de agregar una intensidad “ficticia” aumenta un poco el error para el  $Tr$  mayor.

### 3.4.2.4 Variaciones de $P(i)$ ante el registro de más periodos de retorno

Suponiendo que se obtiene el registro de periodos de retorno de intensidades mayores a las que se tenían antes, ¿qué tanto varían las probabilidades de excedencia  $P(i)$ ? Para observar los cambios, hagamos experimentos numéricos con más periodos de retorno a los que se tienen en la Tabla 3.4.

Tabla 3.10: Variaciones de  $P(i)$  con más periodos de retorno

Intensidad $i$	$Tr(i)$	$P(i)_1, t=2000$	$P(i)_2, t=5000$	$P(i)_3, t=10000$	$P(i)_4, t=20000$	$P(i)_5, t=25000$
1	2	0.600	0.6000	0.6000	0.6000	0.6000
2	5	0.200	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000
3	10	0.120	0.1200	0.1200	0.1200	0.1200
4	25	0.040	0.0400	0.0400	0.0400	0.0400
5	50	0.020	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200
6	100	0.012	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120
7	250	0.004	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040
8	500	0.002	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020
9	1000	0.001	0.0012	0.0010	0.0010	0.0010
10	2000	0.001	0.0004	0.0006	0.0006	0.0006
11	5000	-	0.0004	0.0002	0.0002	0.0002
12	10000	-	-	0.0002	0.0001	0.0001
13	20000	-	-	-	0.0001	0.0000
14	25000	-	-	-	-	0.0001

En la tabla anterior se muestran diferentes probabilidades  $P(i)$  para los periodos de retorno de hasta 25,000 años. En el caso de la tercera columna, se tiene una  $P(i)_1$  con intensidad máxima  $i=10$  y una proyección  $t=2000$  años. En la cuarta columna, se tiene una  $P(i)_2$  con intensidad máxima  $i=11$  y una proyección  $t=5000$  años. Y así sucesivamente hasta llegar a  $P(i)_3$  con intensidad máxima  $i=14$  y proyección  $t=25000$  años.

En este ejemplo, se nota que a partir de la intensidad  $i=10$  se muestran variaciones en  $P(i)_2$ . En  $k=11$ , en  $k=12$ , se ven mayores diferencias entre casi todas las  $P(i)$ . Como se puede observar, sólo hay variaciones en las últimas intensidades.

Conforme a la teoría, para tener probabilidades más acertadas siempre es conveniente tomar el número máximo de registros disponibles, por lo que es mejor tomar  $P(i)_5$ , ya que cuenta con la mayor cantidad de periodos de retorno registrados, sin embargo ya se han comentado anteriormente las deficiencias de este tipo de modelos.

### 3.5 La vulnerabilidad

El Centro Nacional de Prevención de Desastres cuenta con una metodología para la evaluación de la vulnerabilidad de los bienes de la población en sus viviendas, esto es, el menaje. En este análisis no se toma en cuenta la vida de las personas, es decir, sólo se enfoca hacia los aspectos materiales que se pueden reponer.

Se ha realizado una clasificación de los tipos de viviendas en función de los materiales con los que han sido construidas. De esta forma es más fácil conocer los daños que pudieran sufrir las pertenencias de la población. Una vivienda constituida con muros de cartón o plástico y techo de cartón o plástico ofrecerá menos resistencia al paso del agua por lo que sus enseres pueden verse más rápidamente afectados. En cambio, una vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de losa de concreto ligada puede que ofrezca más resistencia a la inundación. Es importante aclarar que en inundaciones extremas donde el tirante de agua puede llegar a grandes alturas, no tiene mayor relevancia el material de la estructura de la vivienda ya que la metodología está enfocada sólo hacia el menaje.

Una vez que se cuenta con la clasificación del tipo de vivienda, se determina un estándar de muebles y enseres menores que pueden tener los habitantes del lugar mediante un análisis socioeconómico. Una vez conocido el menaje se determina una cuantificación del porcentaje de los daños ocasionados en cada caso conforme al tirante de agua que pudiera llegar a alcanzarse durante una inundación. En la Tabla 3.11 se muestra el nivel de vulnerabilidad conforme al tipo de vivienda según el material usado en techo y muros en cinco niveles, para poder inferir su capacidad de respuesta ante una inundación.

Tabla 3.11: Nivel de vulnerabilidad según tipo de vivienda  
(Fuente: CENAPRED<sup>7</sup>)

Tipo	Índice de vulnerabilidad
I	Alto
II	Medio – alto
III	Medio
IV	Medio – bajo
V	Bajo

A continuación se ha clasificado el tipo de vivienda en los niveles de vulnerabilidad de la Tabla 3.11.

<sup>7</sup> Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Varios autores (consultar hoja legal). CENAPRED, México. 2004. Pág. 208.

Tabla 3.12: Clasificación del tipo de vivienda según el material usado en techo y muros  
(Fuente: CENAPRED<sup>8</sup>)

Número de combinación	Tipo de vivienda	Combinaciones entre tipo de material para techo y muros
1	I	Vivienda con muros de cartón o plástico y techo de cartón o plástico
2	II	Vivienda con muros de piedra sobre piedra y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
3	III	Vivienda con muros de piedra sobre piedra y techo de palma
4	I	Vivienda con muros de láminas de cartón y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
5	II	Vivienda con muros de bahareque y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
6	III	Vivienda con muros de bahareque y techo de palma
7	II	Vivienda con muros de adobe sin repellado y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
8	III	Vivienda con muros de adobe sin repellado y techo de palma
9	III	Vivienda con muros de adobe sin repellado y techo de teja
10	IV	Vivienda con muros de madera y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
11	IV	Vivienda con muros de madera y techo de palma
12	IV	Vivienda con muros de adobe con repellado y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
13	IV	Vivienda con muros de adobe con repellado y techo de palma
14	IV	Vivienda con muros de adobe con repellado y techo de teja
15	V	Vivienda con muros de adobe con repellado y techo de losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla
16	IV	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
17	IV	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de palma
18	IV	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de teja
19	V	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla
20	IV	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
21	IV	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de palma
22	IV	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de teja
23	V	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla
24	V	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de losa de concreto ligada

#### Descripciones de los tipos de vivienda:

- Tipo I: Este tipo corresponde a los hogares más humildes, una vivienda consta de un solo cuarto multifuncional, construido con material de desecho. Asimismo, el menaje es el mínimo indispensable.
- Tipo II: El segundo tipo corresponde a hogares que pueden ser clasificados como de clase baja, donde la vivienda puede ser descrita como una vivienda de autoconstrucción o viviendas construidas con materiales de la zona, la mayoría de las veces sin elementos estructurales. Con respecto al menaje, la hipótesis es que las diferentes habitaciones cuentan con sus muebles propios y están más o menos definidas.

<sup>8</sup> Ibid.

- Tipo III: El tercer tipo de viviendas también puede ser clasificado como clase baja, similar al tipo II, pero con techos más resistentes, construida la mayoría de las veces sin elementos estructurales. El menaje corresponde al necesario para las diferentes habitaciones, como en el anterior nivel; sin embargo, se consideran de mayor calidad y por lo tanto un mayor costo.
- Tipo IV: El cuarto tipo de viviendas se identifica como la típica para la clase media, es decir, que puede ser equiparada con una vivienda de interés social, construida la mayoría de las veces con elementos estructurales. El menaje que se ha seleccionado corresponde con el de una casa típica de una familia de profesionistas que ejercen su carrera y viven sin complicaciones económicas.
- Tipo V: Finalmente, el último sector de viviendas, corresponde al tipo residencial, construida con acabados y elementos decorativos que incrementan sustancialmente su valor. El menaje está formado por artículos de buena calidad y con muchos elementos de confort.

Se realizó la cuantificación monetaria del posible menaje que tiene la vivienda conforme a su tipo.

Tabla 3.12: Cuantificación del menaje por tipo de vivienda  
(Fuente: CENAPRED<sup>9</sup>)

Tipo	Cuantificación
I	\$ 12,500.00
II	\$ 50,000.00
III	\$ 150,500.00
IV	\$ 300,000.00
V	\$ 450,000.00

Las funciones de vulnerabilidad se han obtenido en con el tirante de agua medido en metros como el parámetro para determinar el daño que pueden sufrir los bienes de la población. A continuación se muestran las funciones de vulnerabilidad por tipo de vivienda obtenidas por el CENAPRED para la evaluación del riesgo.

Gráfico 3.4 Función de vulnerabilidad para vivienda tipo I  
(Fuente: CENAPRED)

<sup>9</sup> Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Varios autores (consultar hoja legal). CENAPRED, México. 2004.

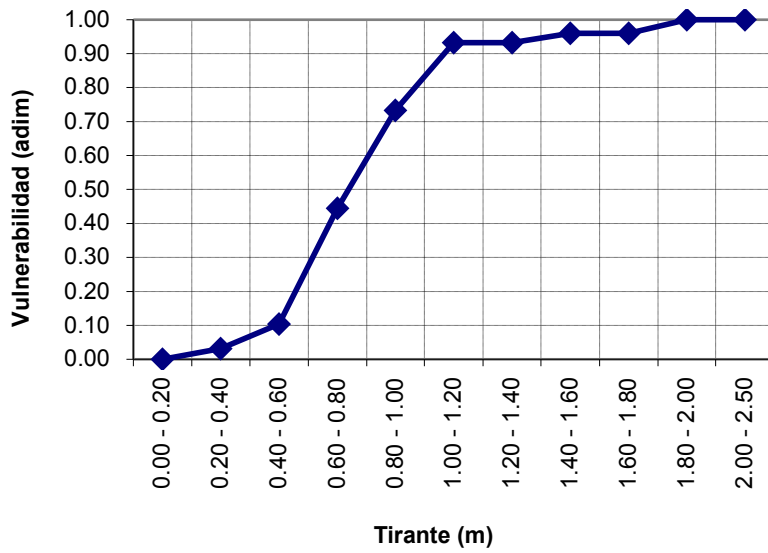


Gráfico 3.5 Función de vulnerabilidad para vivienda tipo II  
(Fuente: CENAPRED)

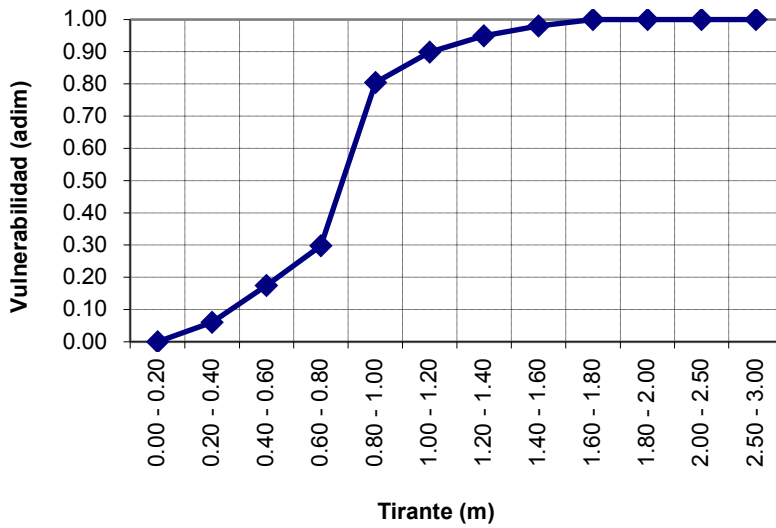


Gráfico 3.6 Función de vulnerabilidad para vivienda tipo III  
(Fuente: CENAPRED)

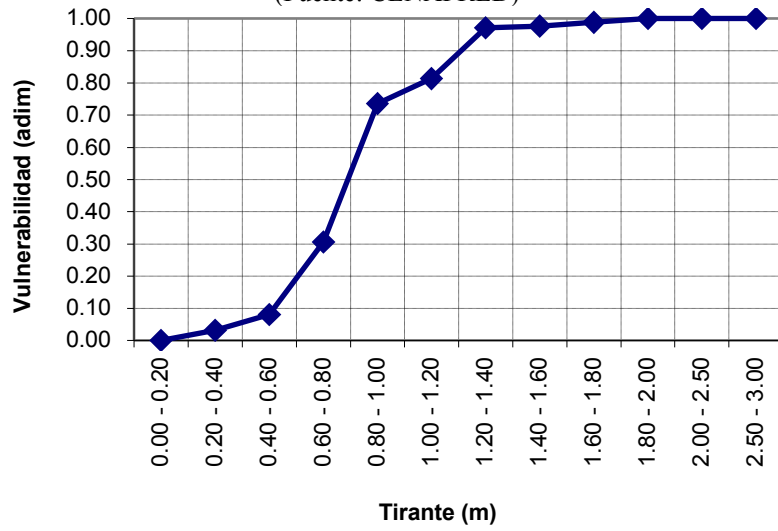


Gráfico 3.7 Función de vulnerabilidad para vivienda tipo IV  
(Fuente: CENAPRED)

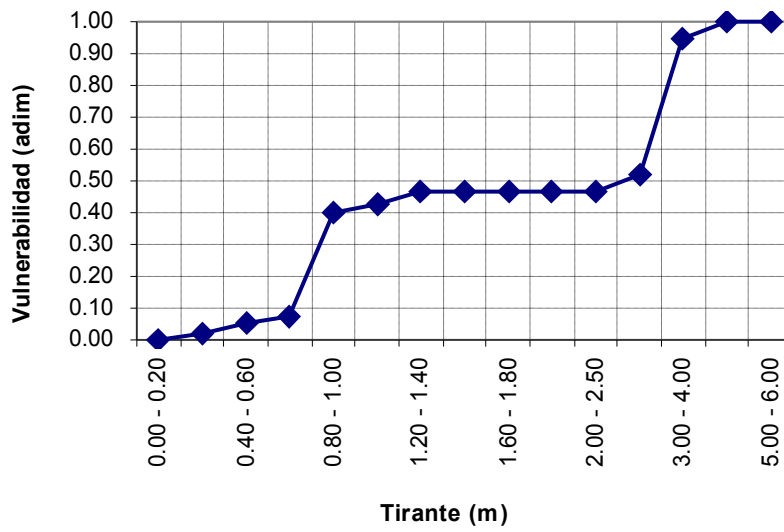
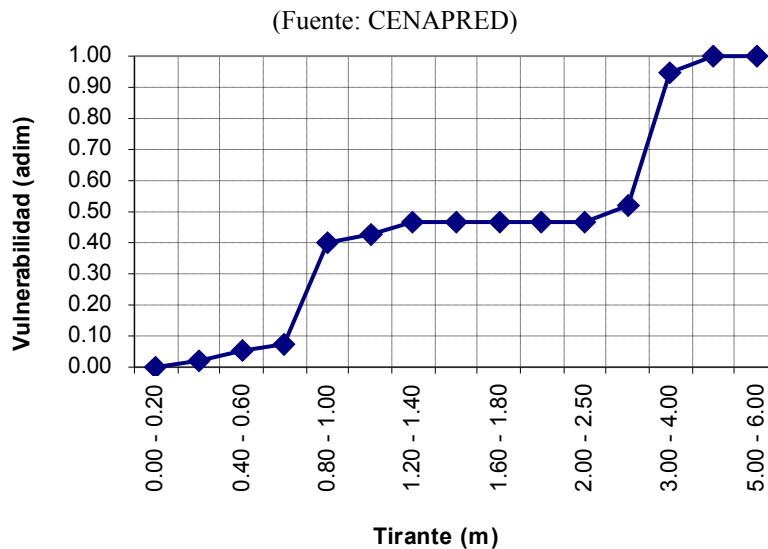


Gráfico 3.8 Función de vulnerabilidad para vivienda tipo V



Aunque ya se cuentan con funciones de vulnerabilidad acerca del menaje de la población, siempre será recomendable que un experto realice una evaluación de las condiciones de la vivienda en aspectos estructurales para ajustar la vulnerabilidad para cada caso conforme a las funciones mostradas. En caso de que no se pueda hacer un ajuste más específico, se pueden usar las funciones anteriores tal cual se han presentado.

### 3.6 Riesgo

A continuación se muestra un ejemplo de la evaluación del riesgo por inundaciones conforme a la metodología mostrada en el capítulo 2.

En la siguiente tabla se muestra la evaluación del riesgo empleando la función de peligro presentada anteriormente y la función de vulnerabilidad correspondiente a una vivienda del tipo I.

Tabla 3.13: Variables para la evaluación del riesgo de una vivienda Tipo I  
(Fuente: CENAPRED)

Intensidad $j$	Tirante (m)	$Tr(i)$	$P(i)$	$V(i)$	$R(i)$
1	0 - 0.2	2	0.6	0	0
2	0.2 - 0.4	5	0.2	0.04	0.00800
3	0.4 - 0.6	10	0.12	0.1	0.01200
4	0.6 - 0.8	25	0.04	0.45	0.01800
5	0.8 - 1	50	0.02	0.75	0.01500
6	1 - 1.2	100	0.012	0.94	0.01128
7	1.2 - 1.4	250	0.004	0.95	0.00380
8	1.4 - 1.6	500	0.002	0.97	0.00194
9	1.6 - 1.8	1000	0.001	0.98	0.00098
10	1.8 en adelante	2000	0.001	1	0.00100
11	-	-	0	1	0
				<b><math>\Sigma</math></b>	<b>0.072</b>

La columna  $R(i)$  corresponde al riesgo por intensidad. Cada  $R(i)$  es el resultado de  $P(i)*V(i)$ . Al momento de sumarse los  $R(i)$ , se obtiene la esperanza de vulnerabilidad ante el siguiente evento, es decir, se calcula un índice del riesgo  $R_p$ . Para obtener el costo monetario por evento ( $R_p$ ), multiplicamos el índice de riesgo por la cuantificación del menaje de la vivienda tipo I. Tenemos que:

$$R_p = C \sum_{i=1}^n P(i)V(i) \quad (3.12)$$

$$R_p = 12,500.00 \times 0.072 = \$900.00$$

Esto quiere decir que en cada inundación, la población de una vivienda tipo I perderá \$900.00 promedio en menaje. Lo anterior muestra consecuencias costosas por inundación para una vivienda del tipo I que corresponde a una familia humilde. Esta situación se empeora si ocurre más de una inundación capaz de causar daño durante intervalos de tiempo relativamente cortos.

Para obtener el riesgo anual  $R_a$ , bastará con multiplicar (3.12) por el promedio  $N$  de eventos que superan la mínima intensidad capaz de causar daños al año.

$$R_a = CN \sum_{i=1}^n P(i)V(i) \quad (3.13)$$

Se verifica que para nuestro caso si  $N = 4$  y  $C = \$12,500.00$ , entonces,  $R_a = \$3,200.00$ , sin embargo, no muchas veces llega a darse el caso en que ocurran tantas inundaciones en un mismo año.



## **Capítulo 4: La prima pura de riesgo por inundación para una región en específica**

### **4.1 Antecedentes: Seguros por riesgos catastróficos en México**

Las circunstancias adversas originadas por la ocurrencia de fenómenos naturales, implicaban no sólo la pérdida de bienes materiales, sino también la muerte o el debilitamiento de los afectados con el consiguiente perjuicio económico que esto involucra. Como consecuencia se origina la idea del seguro por riesgos de carácter catastrófico.

El seguro es el mecanismo utilizado para disminuir la inseguridad de cualquier persona con respecto a algún siniestro por medio de la transferencia de ciertos riesgos a alguien más capacitado para asumirlo como son las compañías de seguros, quienes ofrecen una reposición parcial de las pérdidas económicas sufridas.

En materia de desastres naturales, las compañías aseguradoras ofrecen coberturas dentro del ramo de daños para eventos de tipo geológico e hidrometeorológico.

Dentro del ramo de cobertura por riesgos geológicos se tiene el Seguro de Terremoto, que cubre los daños materiales causados directamente a bienes por Terremoto y/o Erupción Volcánica.

Dentro del ramo de cobertura por riesgos hidrometeorológicos se tiene el plan de Seguro de Riesgos Hidrometeorológicos, que cubre los daños materiales causados a bienes causados directamente por:

- a) Avalanchas de lodo. Deslizamiento de lodo provocado por inundaciones o lluvias.
- b) Granizo. Precipitación helada que cae con fuerza en forma de granos de hielo. Bajo este concepto además se cubrirán los daños causados por la obstrucción en las bajadas de aguas pluviales.
- c) Helada. Fenómeno climático consistente en el descenso inesperado de la temperatura ambiente a niveles inferiores al punto de congelación del agua en el lugar de ocurrencia.
- d) Huracán. Flujo de agua y aire de gran magnitud, moviéndose en trayectoria circular alrededor de un centro de baja presión, sobre la superficie marina o terrestre con velocidad periférica de vientos igual o mayor a 118 kilómetros por hora, que haya sido identificado como tal por los organismos oficialmente autorizados para ese propósito.
- e) Inundación. El cubrimiento temporal accidental del suelo por agua, a consecuencia de desviación, desbordamiento o rotura de los muros de contención de ríos, canales, lagos, presas, estanques y demás depósitos o corrientes de agua a cielo abierto, naturales o artificiales.

f) Inundación por lluvia. El cubrimiento temporal accidental del suelo por agua de lluvia a consecuencia de la inusual y rápida acumulación o desplazamiento de agua originados por lluvias extraordinarias que cumplan con cualquiera de los siguientes hechos:

- Que las lluvias alcancen por lo menos el 85% del promedio ponderado de los máximos históricos de la zona de ocurrencia en los últimos diez años, de acuerdo con el procedimiento publicado por la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros (AMIS), medido en la estación meteorológica más cercana, certificada ésta por el Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua.
- Que la inundación que dañó los bienes asegurados haya cubierto por lo menos una hectárea.

g) Marejada. Alteración del mar que se manifiesta con una sobre elevación de su nivel debida a una perturbación meteorológica que combina una disminución de la presión atmosférica y una fuerza cortante sobre la superficie del mar producida por los vientos.

h) Golpe de mar. Agitación violenta de las aguas del mar a consecuencia de una sacudida del fondo, que se propaga hasta las costas dando lugar a inundaciones.

i) Nevada. Precipitación de cristales de hielo en forma de copos.

j) Vientos tempestuosos. Vientos que alcanzan por lo menos la categoría de depresión tropical según la escala de Beaufort o superiores a 50 kilómetros por hora.

En la actualidad, prácticamente todas las aseguradoras en México venden por separado las coberturas de Terremoto y Riesgos Hidrometeorológicos. En otros países las coberturas se venden por separado, lo cual genera complicaciones innecesarias a la hora de la atención de los siniestros.

Los planes de seguros catastróficos en general cubren:

- Edificio
- Contenidos e inventarios
- Bienes a la intemperie
- Pérdidas consecuenciales

Las opciones de contratación de suma asegurada son:

- Valor de reposición
- Valor real (descontando la depreciación de los bienes)

En el mercado asegurador coexisten varios esquemas de contratación, dependiendo de las preferencias y necesidades del Asegurado. Una de las más usadas es aquella en la que el Asegurado contrata de manera independiente sus Bienes, indicando para cada una de ellos sus valores y coberturas contratadas. Otra opción es en la que el Asegurado contrata una suma global para todos los bienes (límite máximo de responsabilidad global en un evento), donde a veces la pérdida ocasionada por el siniestro queda por debajo del límite, en ocasiones coincide con éste y a veces, cuando se excede, se indemniza hasta el valor de la suma asegurada contratada.

Recientemente los especialistas en seguros han revelado que el crecimiento en la venta de coberturas contra desastres naturales es mínimo en México. Y aunque el territorio mexicano está sujeto a un alto riesgo por sismos y huracanes, 70% de las micros, pequeñas y medianas empresas, así como 98% de las casas habitación no cuentan con seguro de protección contra fenómenos naturales. Esto significa que sólo las grandes empresas contratan estos seguros, quedando marginadas de la protección las personas y empresas de menores recursos que se ubican en zonas de riesgo.

Aproximadamente 20 años atrás varias dependencias del gobierno federal no estaban aseguradas contra riesgos catastróficos, lo que en la actualidad es una obligación, por tanto, todos los bienes gubernamentales están (o deberían estar) amparados.

Tan sólo 5% de las casas particulares (casa-habitación) mexicanas cuenta con un seguro contra riesgos. Tomando en cuenta que los créditos hipotecarios ya incluyen un seguro de estas características, la proporción alcanza de 10 a 12 por ciento del total de la vivienda asegurada en México. Las personas no aseguran sus 234 hogares contra desastres naturales porque desconocen que existe gran variedad de opciones para el aseguramiento de casas habitación a precios accesibles, o porque no consideran este gasto como prioritario. Así, desconocen en la mayoría de los casos que un seguro para cubrir una casa con valor de 600 mil pesos, cuesta alrededor de mil pesos anuales.

Cabe destacar, sin embargo, que la AMIS reportó el crecimiento de los seguros contra riesgos catastróficos el tercer trimestre del año 2005 en comparación con el de 2004, en particular como reflejo de la cultura de previsión que está produciendo la realización de los riesgos hidrometeorológicos (ver Tabla 1.2).

Tabla 4.1: Primas directas (millones de pesos)  
tercer trimestre del año 2005. <sup>1</sup>

Ramo	2005	2004	Diferencia
Terremoto y Erupción Volcánica	2,301	2,331	-30
Hidrometeorológico	2,727	2,419	308
Total	5,028	4,750	278

Durante el cuarto trimestre de 2005, los siniestros de los seguros de daños, sin incluir los de automóviles, alcanzaron el monto sin precedentes de 32,904.1 millones de pesos, en virtud de las importantes coberturas catastróficas de riesgos hidrometeorológicos.

Tabla 4.2: Siniestros directos (millones de pesos)  
cuarto trimestre del año 2005. <sup>2</sup>

Ramo	Monto
Vida	26,311
Pensiones derivadas de la seguridad social	4,268
Accidentes y enfermedades	14,562
Daños sin autos	32,904
Automóviles	28,616
Total General	106,661

<sup>1</sup> Comportamiento del seguro mexicano. Resultados al Tercer trimestre de 2005-2004. Rolando Vega Saénz. Presidente. Noviembre, 2005. Pág. 5.

<sup>2</sup> Comportamiento del seguro mexicano. Resultados al Cuarto trimestre de 2005-2004. Rolando Vega Saénz. Presidente. Febrero, 2006. Pág. 2.

Entre los grandes siniestros en el mercado mexicano de seguros, el huracán “Wilma” es el que históricamente más ha promovido la acción de las aseguradoras. En comparación con el sismo de 1985, en que la baja cobertura originó solicitudes de indemnización por la décima parte de las pérdidas totales estimadas, quedando sólo el 6% indemnizable por causa de infraseguros, coaseguros y deducibles, los siniestros producidos por el meteoro han dejado a cargo de las aseguradoras la mayor parte de los gastos, aproximándose nuestra participación a los 2 mil millones de dólares, 69% del costo total, de acuerdo al total de los daños estimados por la presidencia de la república.<sup>3</sup>

Tabla 4.3: Grandes Siniestros en el Mercado Mexicano<sup>4</sup>

Evento	Monto (millones de dólares)
Huracán Wilma	1,865
Huracán Gilberto	460
Huracán Isidoro	280
Sismo de 1985	260
Huracán Emily	240
Satélite Solidaridad	200
Huracán Kenna	160
Huracán Stan	160
PEMEX Cactus	133
PEMEX Pajaritos	109
Huracán Juliette	80*
Huracán Pauline	50
PEMEX San Juanico	40

\*Con la estimación inicial de Fertinal

Fuente: Estimaciones AMIS, en millones de dólares corrientes

Por si sólo, el monto alcanzado por Wilma supera a la suma de los ocasionados por los Huracanes Gilberto, Isidoro, Emily, Kenna, Stan, Pauline, el sismo de 1985, el satélite Solidaridad, y la explosión en San Juanico.

Con lo observado, es posible asegurar que la cobertura por riesgos catastróficos implica conocer una metodología de evaluación del riesgo que permita calcular primas que actuarialmente sean capaces de afrontar las obligaciones que la compañía aseguradora tiene con sus asegurados. La circular S-10.4.1 titulada “Seguro de Terremoto y/o Erupción Volcánica” dirigido a las instituciones y sociedades mutualistas de seguros publica la nota técnica y la forma en que se deberá estimar el riesgo de edificaciones para estos eventos en México. Para el caso de los riesgos hidrometeorológicos, la Comisión Nacional de Seguros y Fianzas (CNSF) en conjunto con la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguro, han desarrollado un esquema similar, el cual está siendo ejecutado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM y por ERN Ingenieros Consultores S. C.

<sup>3</sup> Expansión, Edición número 928, 9 de noviembre de 2005.

<sup>4</sup> Comportamiento del seguro mexicano. Resultados al Cuarto trimestre de 2005-2004. Rolando Vega Saénz. Presidente. Febereo, 2006.Pág. 7.

## 4.2 Determinación de la prima pura del riesgo de inundación

La prima pura de riesgo debe ser suficiente para compensar a la empresa con relación a sus compromisos futuros. La pregunta que se desea contestar se refiere al monto total que habrá que pagarse por concepto de siniestros en un periodo determinado de tiempo.

Si tomamos a  $N$  como el número de inundaciones que ocurren en un determinado periodo de tiempo, y a la variable aleatoria  $S_i$  como el monto pagado por daños en el menaje del  $j$ -ésimo siniestro ocurrido donde las  $S_i$  son mutuamente independientes, entonces el monto total que se pagará en un año está dado por  $T$ , donde:

$$T = \sum_{j=1}^N S_j \quad (4.1)$$

Dado que el inverso del periodo de retorno expresa la probabilidad ( $Pe$ ) de que se dé una inundación mayor o igual a cierta intensidad en un año, se puede tomar este valor como la probabilidad de éxito en una distribución binomial. Tomando a  $Pe(i)$  donde  $i$  es la mínima intensidad de tirante de inundación capaz de causar daño, se estarían tomando en cuenta todos los niveles de intensidad de inundación. De lo anterior se deduce el comportamiento de la variable aleatoria  $N$ .

$$N \sim Bin(x; n, p) \quad (4.2)$$

Donde:

- $n$  es el número de años.
- $p = Pe(i)$  que es la probabilidad de que se dé una inundación de intensidad mínima  $i$  en un año.

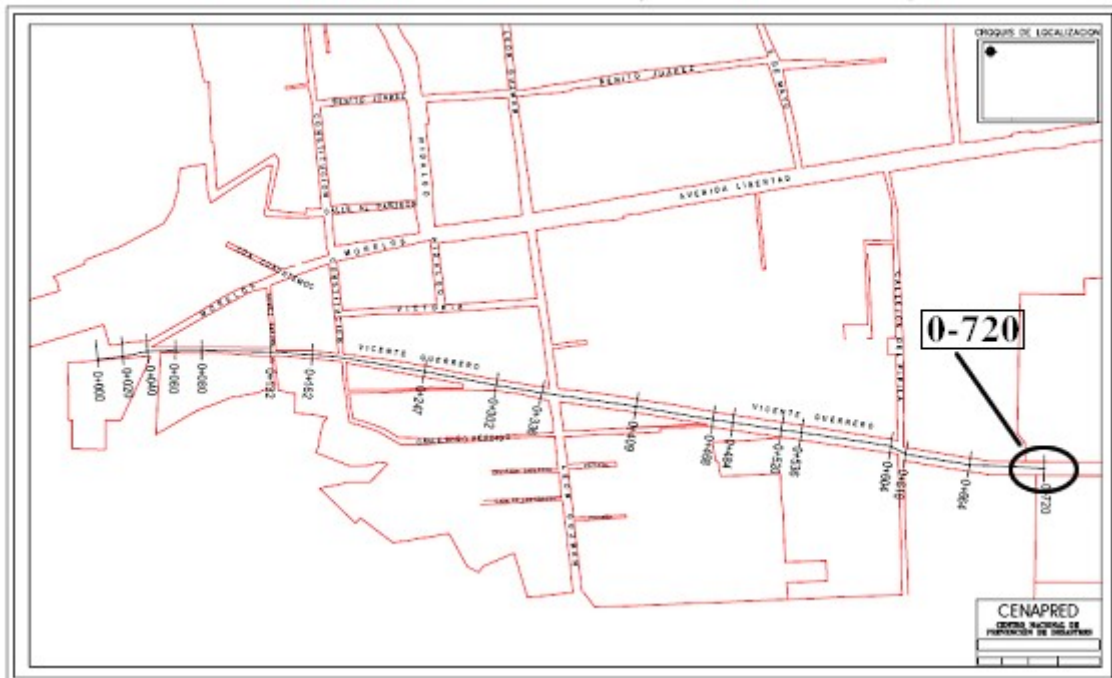
En cuestión a la distribución del monto de cada siniestro, se tiene que la distribución del riesgo viene a ser esta distribución.

Para responder a la pregunta formulada al principio de este subcapítulo, se realizará una simulación de la variable aleatoria  $T$ .

El lugar de estudio se encuentra en la localidad de Santa María Jajalpa, Estado de México, en el municipio de Tenango del Valle. Esta localidad sufrió una inundación significativa en el año 2001, por lo que investigadores del CENAPRED tomaron a Santa María Jajalpa como ejemplo para aplicar las metodologías descritas en el capítulo 3 de esta tesis. Los análisis completos se pueden consultar en la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos por Fenómenos Hidrometeorológicos.

Para nuestro análisis supondremos la existencia de una vivienda de tipo IV con un valor de menaje de \$300,000.00 y con ubicación en la sección 0-720. En la Figura 4.1 se pueden observar las zonas inundables y la zona escogida.

Figura 4.1: Zonas inundables en Santa María Jajalpa.  
(Fuente: CENAPRED)



Conforme a los datos de peligro y vulnerabilidad mencionados en el capítulo 3, y el ejemplo estudiado en la zona se tienen los siguientes datos:

Tabla 4.4: Evaluación del riesgo

Intensidad $i$	Tirante	$Tr(i)$	$Pe(i)$	$P(i)$	$V(i)$	Daño Esperado
1	0.24	2	0.5	0.6	0.005	\$900.00
2	0.32	5	0.2	0.2	0.03	\$1,800.00
3	0.35	10	0.1	0.12	0.036	\$1,296.00
4	0.84	25	0.04	0.04	0.4	\$4,800.00
5	1.13	50	0.02	0.02	0.43	\$2,580.00
6	1.3	100	0.01	0.012	0.48	\$1,728.00
7	1.51	250	0.004	0.004	0.49	\$588.00
8	1.64	500	0.002	0.002	0.493	\$295.80
9	1.74	1000	0.001	0.001	0.496	\$148.80
10	1.86	2000	0.0005	0.001	0.499	\$149.70
				0	1	\$0.00
					<b>Riesgo</b>	<b>\$14,286.30</b>

De la tabla anterior se observa que en promedio una vivienda de tipo IV tiene una pérdida promedio de \$14,286.30 por cada inundación. Sin embargo, el resultado anterior dice muy poco acerca de cómo será el monto de reclamaciones, ni cuánto es la pérdida máxima probable durante determinado intervalo de tiempo; además en sentido comercial no resultará atractivo de pagar una prima de tarifa con una prima neta de tan elevado precio.

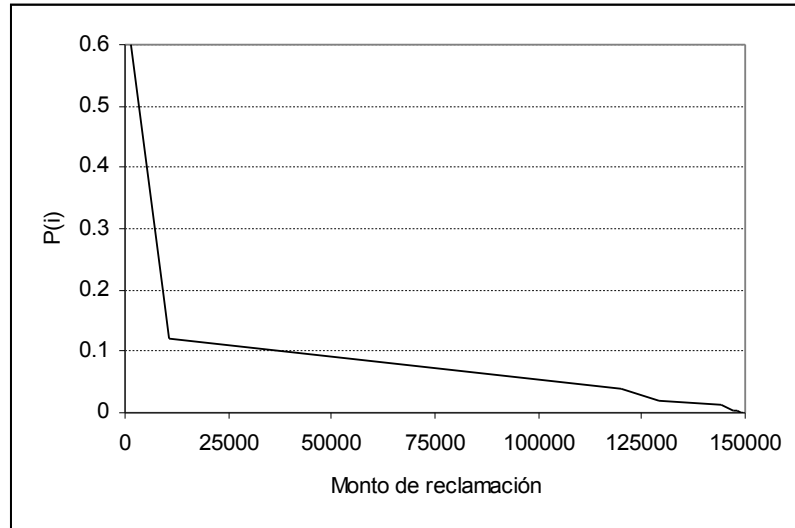
Para llevar a cabo un análisis más profundo, se realizó la simulación de la variable aleatoria  $T$  donde  $S_j$  se distribuye conforme a la función de peligro  $P(i)$ .

En la Tabla 4.3 y Gráfico 4.1 se presenta el peligro relacionado a un monto de reclamación. Este monto se obtiene mediante la multiplicación del valor del menaje calculado para este tipo de vivienda por la vulnerabilidad de intensidad  $i$ .

Tabla 4.3  
(Fuente: Elaboración propia)

Intensidad $i$	$P(i)$	Monto
1	0.6	1500
2	0.2	9000
3	0.12	10800
4	0.04	120000
5	0.02	129000
6	0.012	144000
7	0.004	147000
8	0.002	147900
9	0.001	148800
10	0.001	149700

Gráfico 4.1: Probabilidad y monto de reclamación  
(Fuente: Elaboración propia)



Dado que la función de probabilidad es decreciente con el monto, entonces su simulación se llevará a cabo mediante la interpolación entre los puntos conocidos de la Tabla 4.3. Por ejemplo si aleatoriamente se genera un valor igual a 0.4 entonces se realiza una interpolación lineal entre los puntos (1500, 0.6) y (9000, 0.2) y se obtiene el valor del monto esperado para el valor aleatorio obtenido.

La siniestralidad se distribuye binomialmente con una  $p=0.2$  pues la intensidad  $i=2$  ya causa pérdidas significativas en el menaje. Específicamente nos interesa conocer la siniestralidad en un año por lo que se tomará a  $n=1$ .

Se realizaron diez simulaciones generando 10,000 variables aleatorias por cada simulación. El algoritmo de simulación fue realizado en lenguaje Python y se puede consultar en el Anexo III. Los resultados son los siguientes.

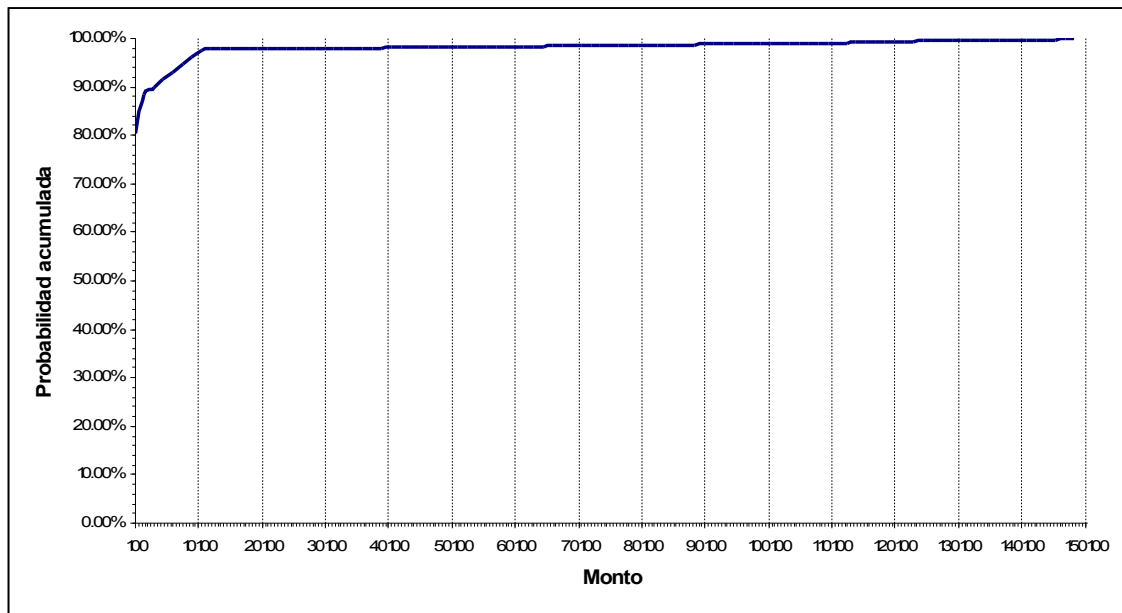
Media:  $2753.50 \pm 123.48$

Desviación Estándar:  $15017.71 \pm 424.12$

Máxima pérdida:  $149888.52 \pm 80.58$

El intervalo se obtiene de la comparación entre las diferentes simulaciones. El siguiente gráfico puede ilustrar mejor el escenario de reclamaciones. Dado que se observa cierta uniformidad entre las series simuladas, el gráfico muestra la serie que presentó un escenario de mayor pérdida posible.

Gráfico 4.1: Probabilidad y monto de reclamación  
(Fuente: Elaboración propia)



Conforme al gráfico y a la tabla 4.4 se puede afirmar con una confianza del 95% que el monto máximo probable en un año es de \$8,000.00.

Tabla 4.4  
(Fuente: Elaboración propia)

Intervalo	% acumulado
0	80.50%
\$1499.6	88.41%
\$2999.1	89.92%
\$4498.7	91.62%
\$5998.3	93.05%
\$7497.8	94.65%
\$8997.4	96.24%

De hecho, se puede afirmar con un 90% de confianza que el monto no rebasará los \$3,000.00.

Conforme a lo anterior podemos concluir que la prima neta única de \$2877.00 (que es  $2753.50+123.48$ ) anuales es suficiente para realizar la cobertura por solamente el fenómeno de inundación en una casa de tipo IV localizada en la zona 0-720 de Santa María Jajalpa.



## Conclusiones

Los desastres por fenómenos naturales son eventos que causan graves pérdidas materiales. Mediante el conocimiento de una metodología que permita la evaluación de las posibles pérdidas que puedan generar, es posible realizar importantes acciones de prevención. Nos bastan ejemplos en los que de haberse realizado una evaluación del riesgo se hubieran mitigado en gran medida los daños materiales ocasionados por estos eventos.

Puesto que los fenómenos naturales son eventos inevitables, entonces recae en la humanidad la responsabilidad de vivir en armonía con los elementos de la naturaleza haciendo una correcta planeación al establecer sus asentamientos con el fin de evitar la generación de vulnerabilidades que desemboquen en un desastre al momento de ocurrir algún fenómeno.

Los desastres naturales son cada vez un problema mayor, pues la escasez de recursos materiales y/o la poca planeación en los asentamientos humanos han llevado a sectores de la población a establecerse en zonas de alto riesgo. Ejemplo de lo anterior pueden ser el establecimiento de viviendas en lugares afectables por el deslave de cerros en las cercanías a la Ciudad de México; otro caso es el establecimiento de la zona hotelera en Cancún donde los ciclones tropicales son frecuentes. A pesar de que se cuenta con un mayor conocimiento de los fenómenos perturbadores de origen natural, las causas de los desastres siempre estarán ligadas a situaciones sociales que pueden ir más allá de la evaluación correcta del riesgo.

En aspectos económicos y financieros, los desastres son una causa importante de análisis pues los daños ocasionados por estos implican una reparación o resarcimiento de los bienes afectados entre los cuales se pueden encontrar estructuras de comunicación, vivienda, menaje, ganado, cosechas, etc.

En el caso específico de México, se observa que en los últimos años hay una reducción en el número de fallecimientos en desastres por fenómenos naturales, sin embargo, existe un aumento significativo en el aumento de pérdidas económicas. Los fenómenos con mayor frecuencia que han afectado el territorio mexicano son los de orden hidrometeorológico, sin embargo, aunque los fenómenos de tipo geológicos ocurren espontáneamente, generan graves pérdidas.

Afortunadamente existen instrumentos en México, que ayudan financieramente a los afectados por los fenómenos naturales. El FONDEN (Fondo de Desastres Naturales) sirve para apoyar a los afectados en caso de sufrir graves pérdidas, así como proporcionar recursos para la reconstrucción de vías de comunicación y fuentes de empleo. Un seguro por riesgos catastróficos viene a ser un instrumento útil en estos casos, sin embargo, el mercado asegurador ha tenido que enfrentar grandes retos por las reclamaciones relacionadas a montos por este tipo de siniestros, ejemplos de esto son lo sucedido por los huracanes Julliette y Wilma.

Mediante el conocimiento de las formas de medición de los fenómenos naturales se puede realizar, junto con un análisis de vulnerabilidad, una buena evaluación del riesgo,

la cual sirve para tener una mejor perspectiva económica y financiera que resultará útil para mitigar el impacto ocasionado por este tipo de eventos.

En cuestión a las inundaciones por lluvia, se mostró que es un fenómeno de gran impacto mundial con alto nivel de ocurrencia. El impacto económico y financiero causado por las inundaciones ha sido significativo en los últimos años.

La metodología descrita en esta tesis para la evaluación del riesgo es el conjunto de procesos que parten de conocer las características del fenómeno hasta la afectación probable en el menaje de una vivienda, es por eso que su aplicación resulta interesante ya que busca una evaluación del riesgo casi al detalle. Las ventajas de realizar este tipo de análisis son muchas, entre ellas están que se puede segmentar perfectamente el riesgo por calles de una localidad, conocer dónde realizar obras que sirvan a mitigar los daños en zonas específicas, fomentar el establecimiento de viviendas en zonas alejadas de partes inundables, entre otras. Sin embargo, este tipo de estudios requiere de conocimientos especializados que en algunos casos puede resultar como limitantes para que se lleven a cabo.

En la actualidad, es necesaria la implementación de modelos de ingeniería para calcular tarifas y reservas de riesgos por fenómenos naturales, ya que esta disciplina permite analizar el riesgo catastrófico con herramientas más especializadas que con los métodos estadísticos tradicionales. El caso típico del seguro de vida se calcula por tablas de mortalidad, pero los riesgos catastróficos, en su mayoría, no pueden funcionar así porque ocurren súbitamente, y en algunas ocasiones con poca frecuencia.

Entender las causas físicas que ocasionan la pérdidas durante la ocurrencia de los fenómenos naturales, permite reducirlas y modelar de mejor forma los posibles daños, eso es lo que proporcionan los modelos de ingeniería, y el manejo de sólo un modelo estadístico para la evaluación del riesgo se presenta más limitado en ese aspecto; es así, como la combinación de técnicas actuariales con técnicas de ingeniería permiten una evaluación del riesgo más razonable. El uso de modelos tiene como consecuencia una suscripción de mayor calidad, gracias a que las aseguradoras tienen un mejor análisis de acumulación de daños mediante la simulación.

En el futuro, probablemente, las compañías aseguradoras enfrentarán grandes retos en el ramo de riesgos catastróficos en caso de que se cumplan ciertos escenarios adversos por causa del calentamiento global. De lo anterior, se desprende la necesidad de familiarizar al sector asegurador con técnicas que permitan mejorar la evaluación del riesgo por fenómenos naturales. Puede resultar de gran interés la metodología mostrada en el capítulo 4 para evaluar el riesgo resultando como alternativa a la forma actual de elaboración de primas netas que cubran el riesgo por inundaciones, o tal vez, permita el desarrollo de más técnicas y metodologías.

La mitigación es otra aplicación que las aseguradoras pueden aplicar a la metodología descrita. Si se detectan áreas con mayor propensión a ser afectadas se pueden modificar, y de esa manera disminuir significativamente el riesgo. Por lo anterior, también es importante fomentar el desarrollo de acciones que protejan al asegurado mediante recomendaciones que permitan mitigar el impacto de los fenómenos.

Por último, cabe destacar que las metodologías descritas en esta tesis pueden servir para la evaluación del riesgo en otros tipos de fenómenos diferentes a los hidrometeorológicos.

## **Anexo I**

### **Mapas de peligro por ciclones tropicales en México**

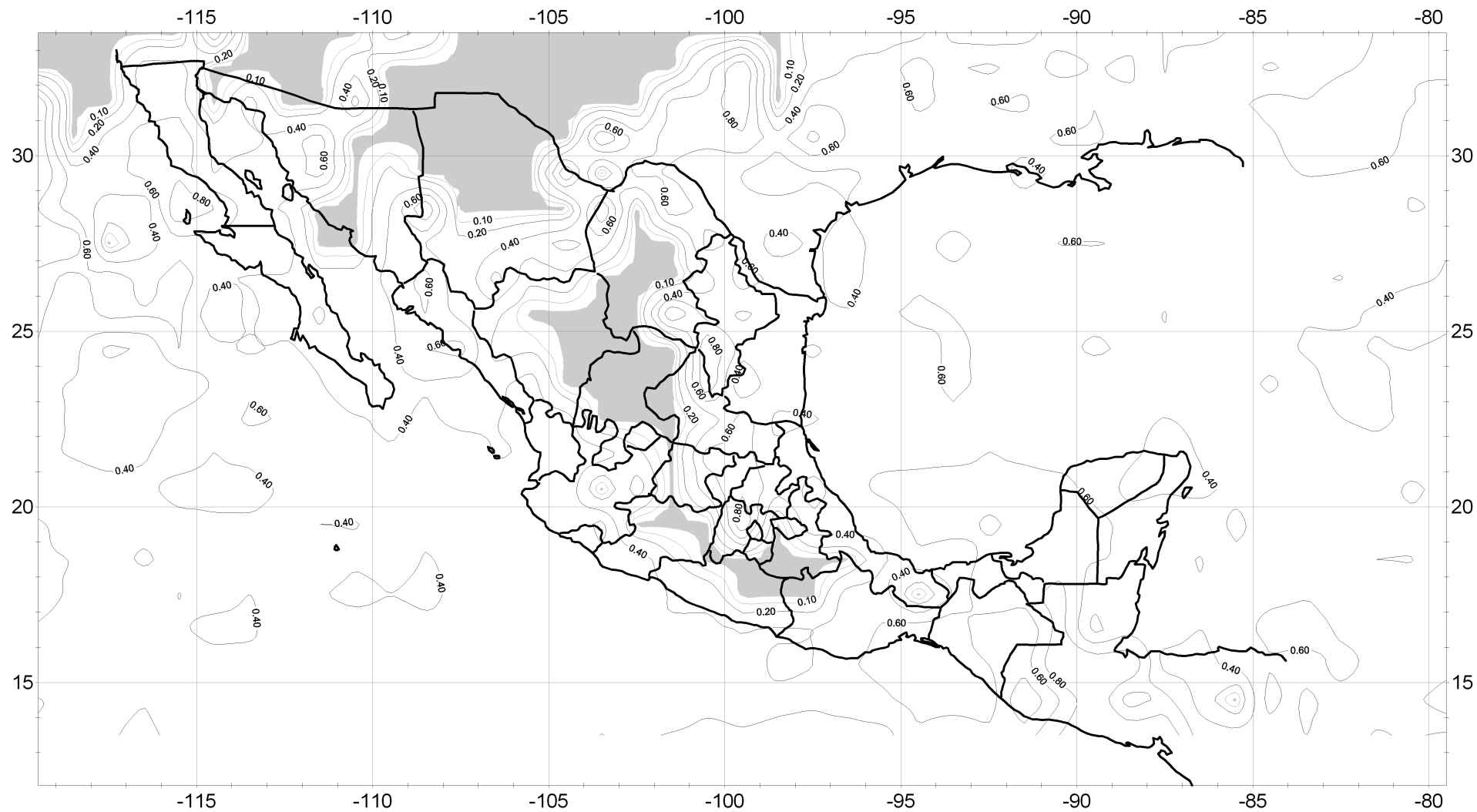


Figura 2.6.1 Probabilidad de ocurrencia de las depresiones tropicales en México. CENAPRED.

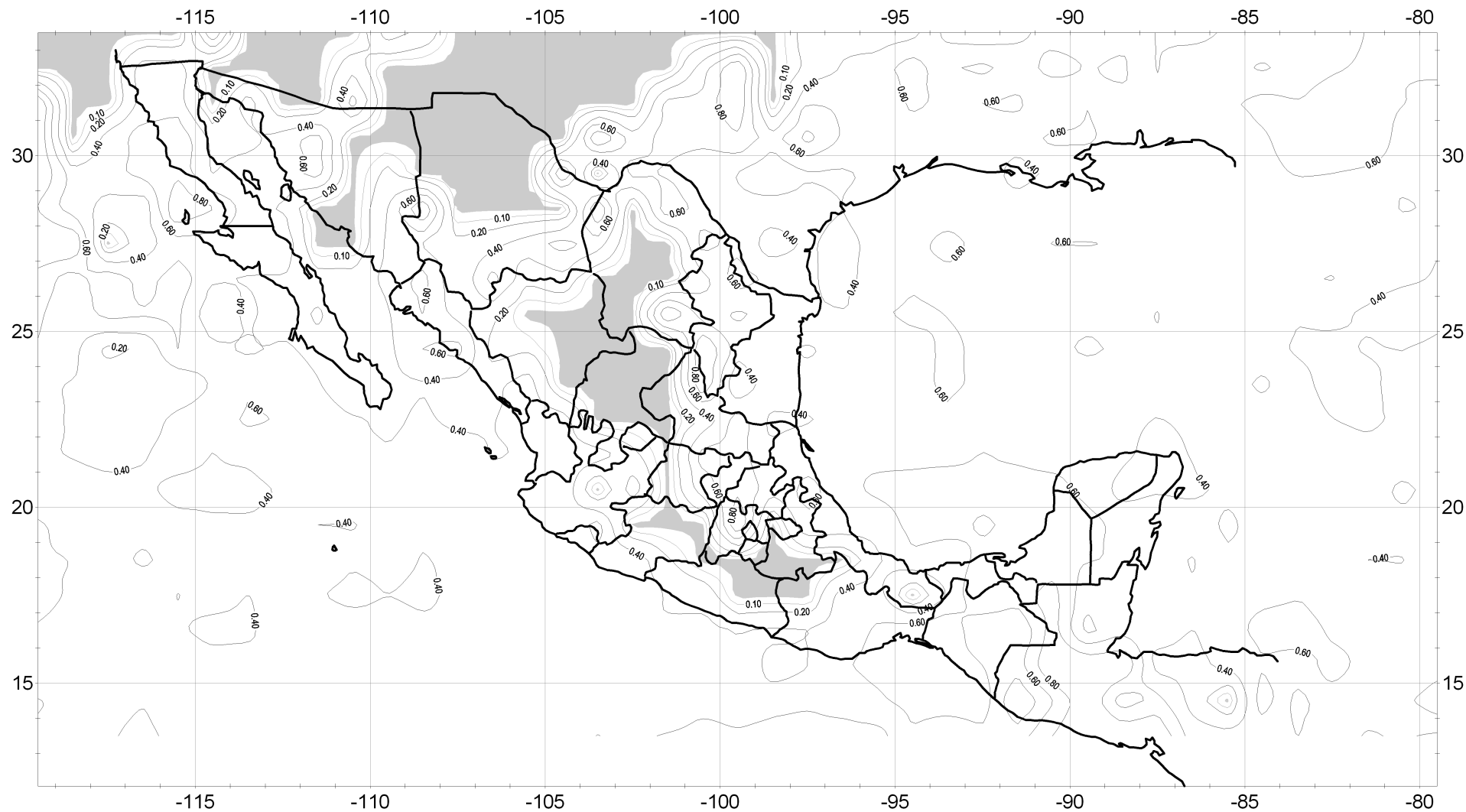


Figura 2.6.2 Probabilidad de ocurrencia de las tormentas tropicales en México

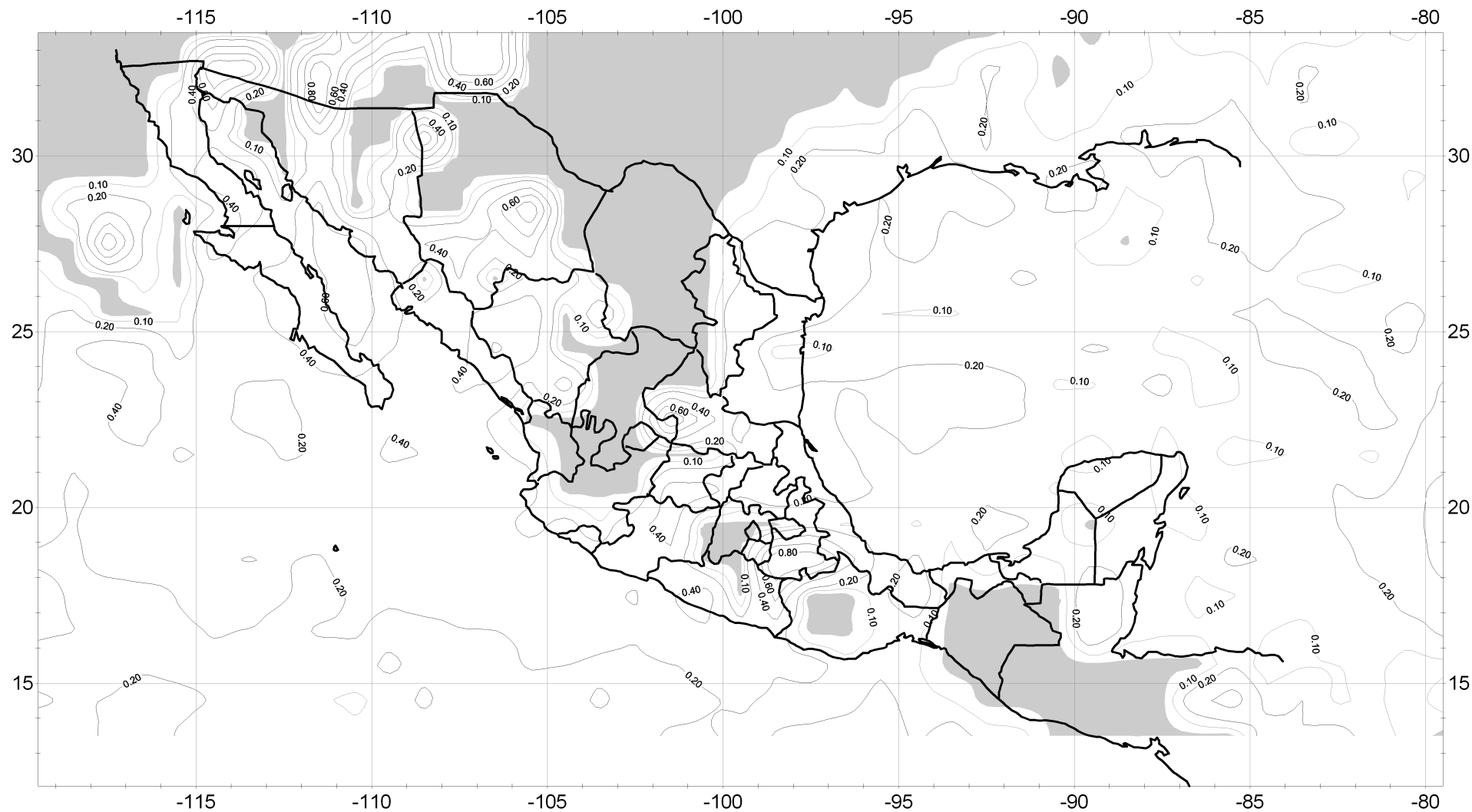


Figura 2.6.3 Probabilidad de ocurrencia de los huracanes categoría 1 en México. CENAPRED.

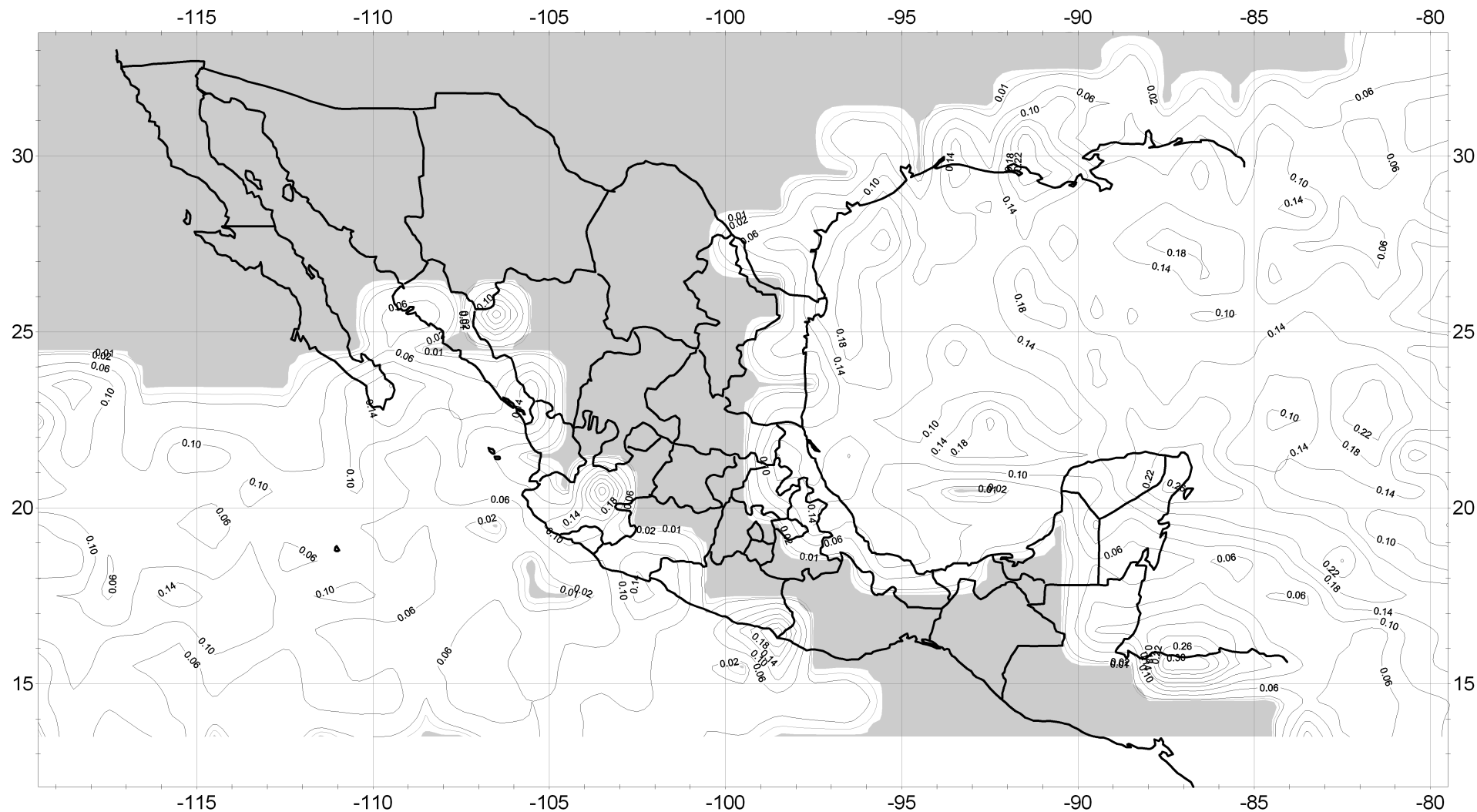


Figura 2.6.4 Probabilidad de ocurrencia de los huracanes categoría 2 en México. CENAPRED.



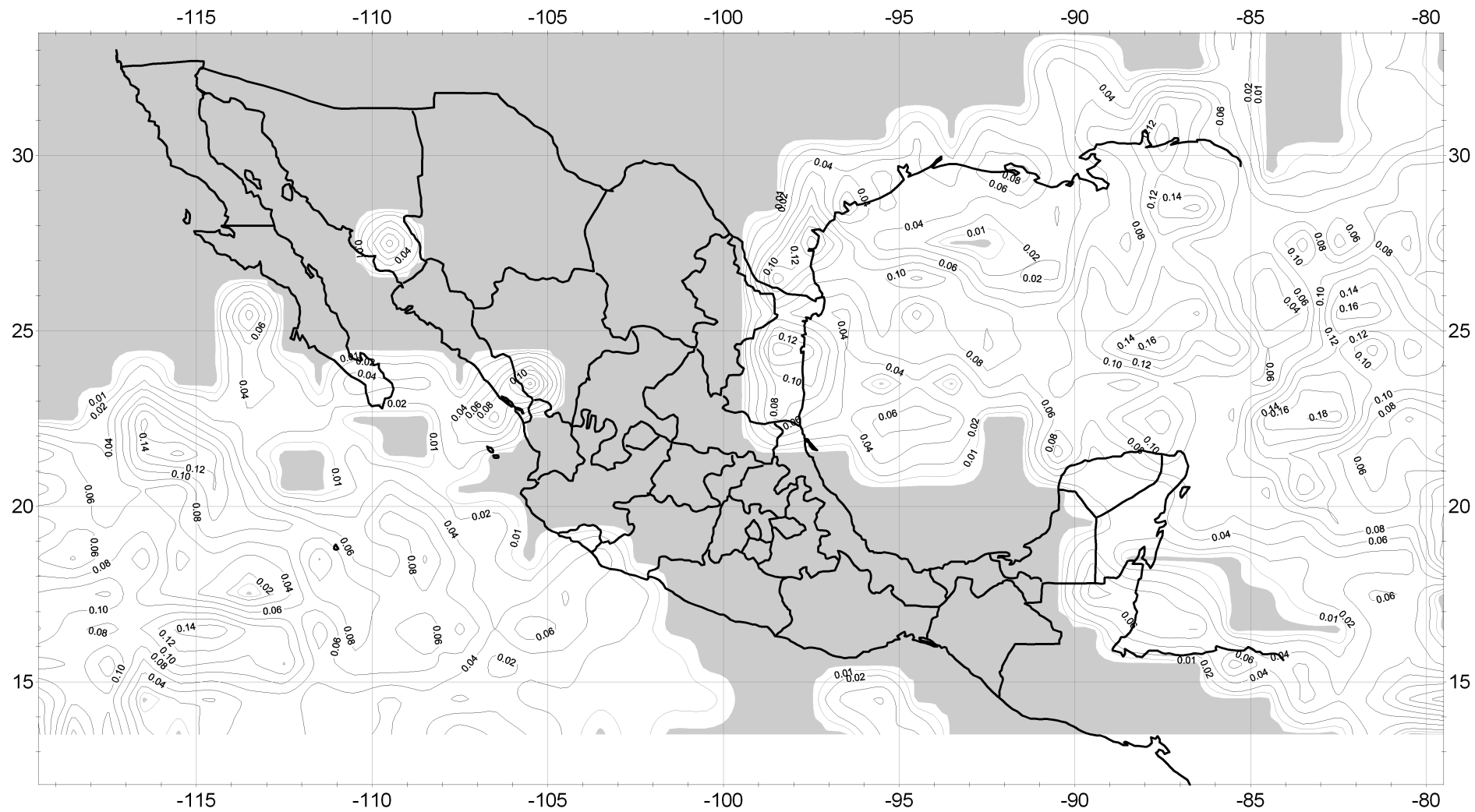


Figura 2.6.5 Probabilidad de ocurrencia de los huracanes categoría 3 en México. CENAPRED.

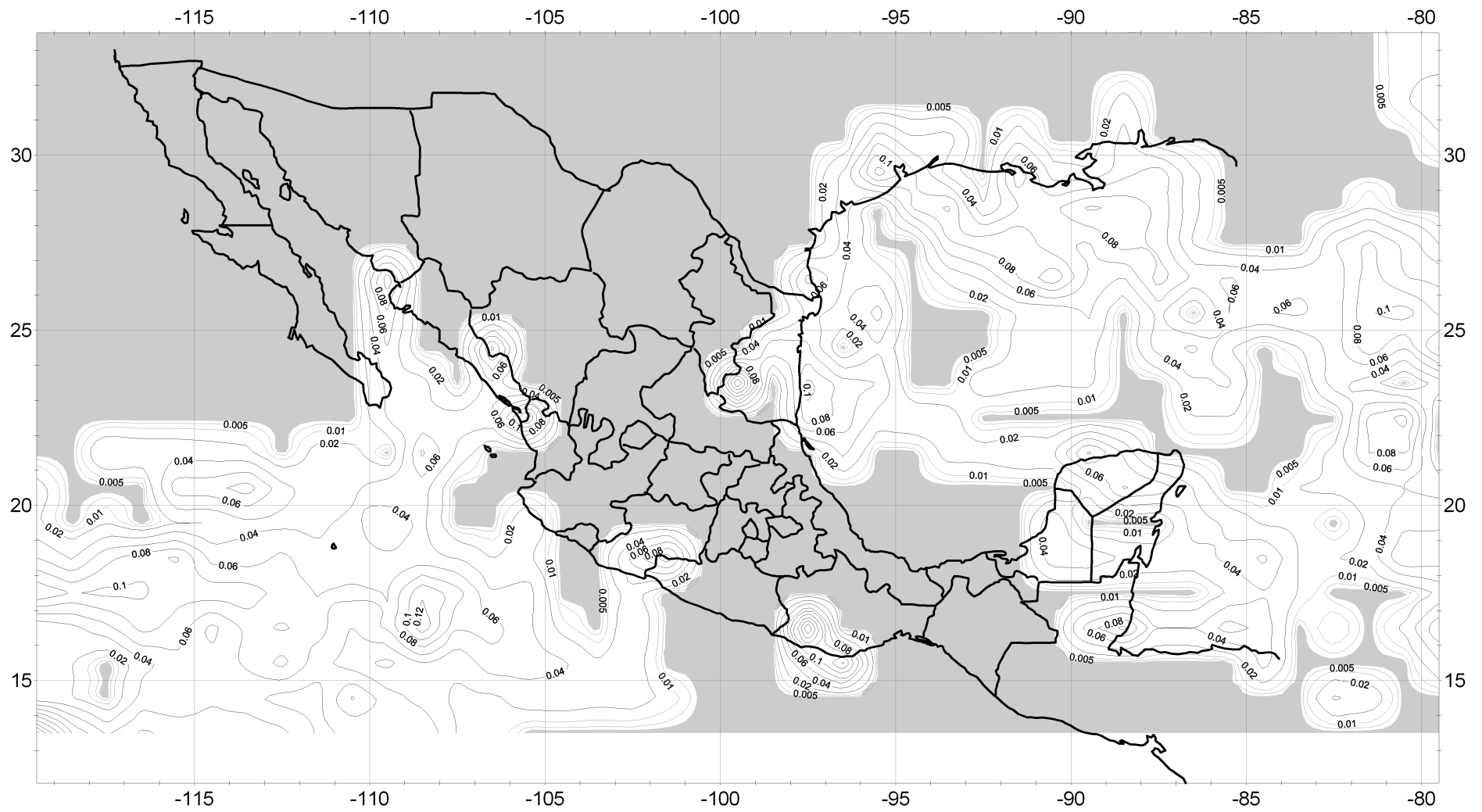


Figura 2.6.6 Probabilidad de ocurrencia de los huracanes categoría 4 en México. CENAPRED.

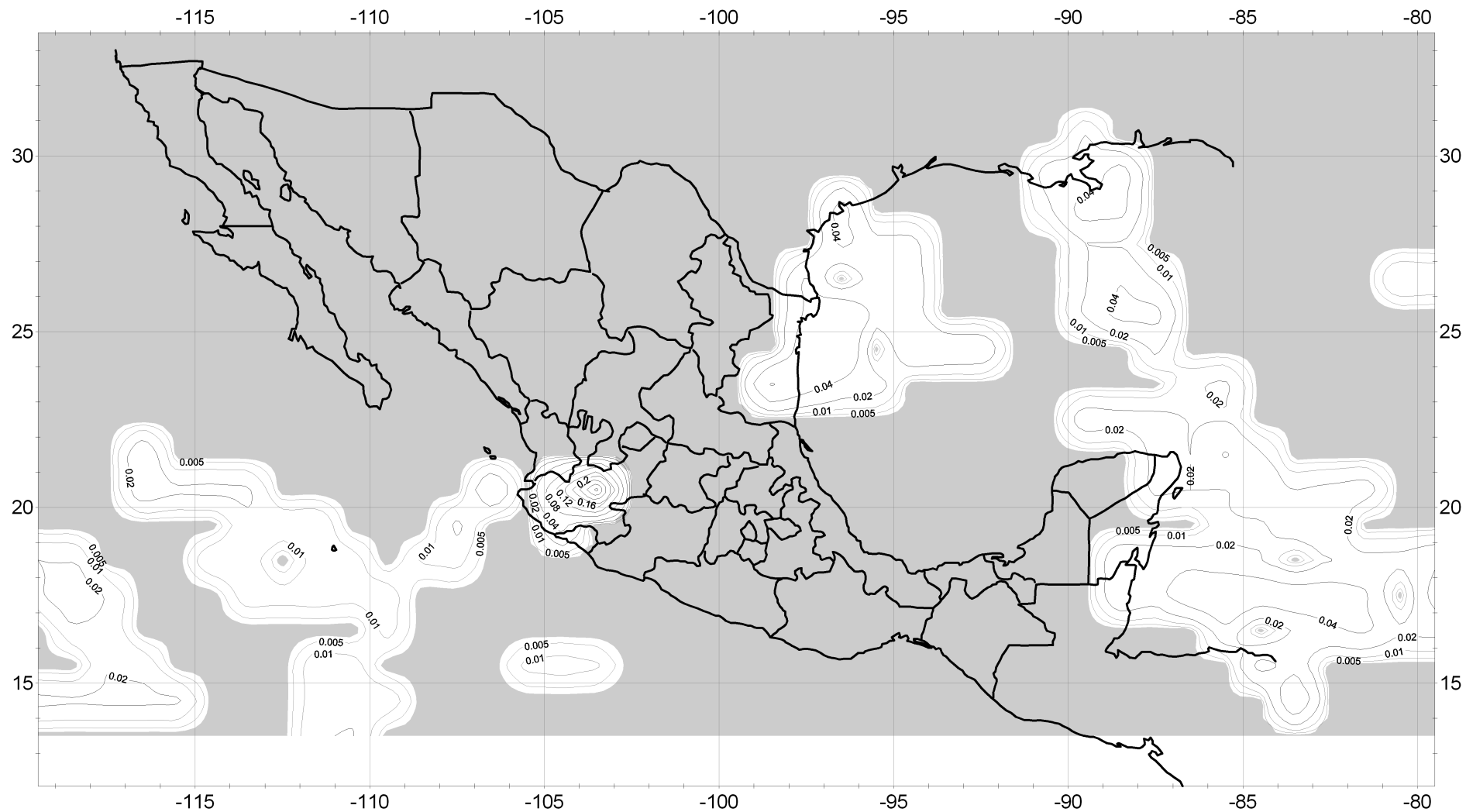


Figura 2.6.7 Probabilidad de ocurrencia de los huracanes categoría 5 en México. CENAPRED.

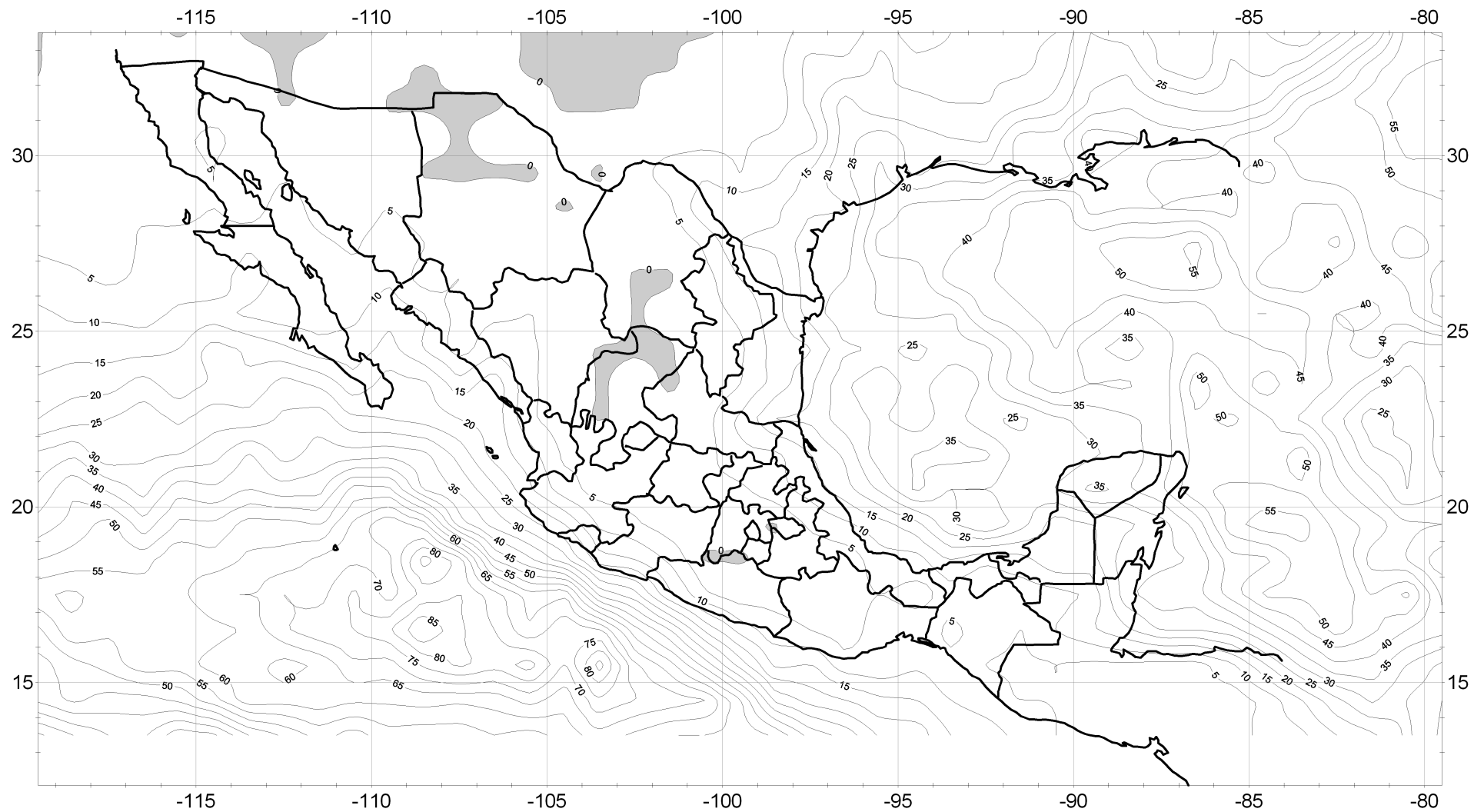


Figura 2.7 Número total de ciclones tropicales en México. CENAPRED.

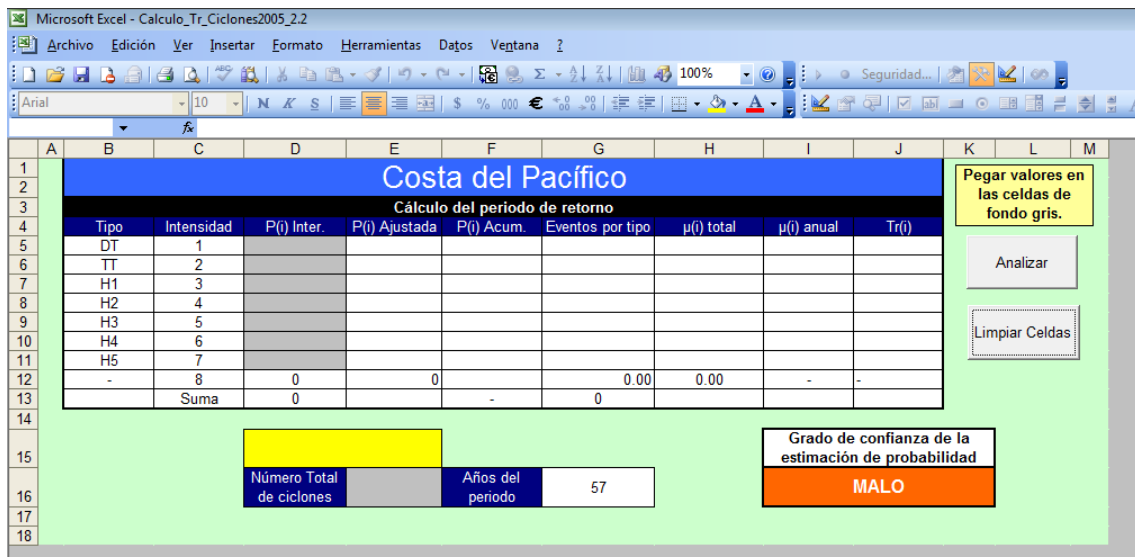
## **Anexo II**

**Programa para calcular periodos de retorno mediante  
la función de peligro por ciclones tropicales en México**

Se deberá realizar una Hoja de Excel con las características de la imagen, respetando el diseño de las filas y columnas. Se deberán agregar dos botones de Visual Basic, el primero tendrá como título la palabra “Analizar”, y el segundo tendrá el título “Limpiar Celdas”. El valor del campo “(name)” del primer botón será “CmdLimpar”; el valor del campo “(name)” del segundo botón será “CmdObtener”.



En el caso de usar los datos de la Costa del Pacífico se usará la siguiente plantilla en una Hoja diferente:



Cabe notar que los “Años del periodo” en la celda G16, cambian para cada Hoja.

A continuación, se deberá ingresar al editor de Visual Basic y en el código correspondiente a la Hoja donde se realizó el diseño se debe ingresar el siguiente código:

```

'-----INICIA ALGORITMO-----
'Programa realizado por David Ricardo Mendoza Estrada
'Algoritmo realizado con Visual Basic para Aplicaciones en Microsoft Excel

```

```
Dim RespuestaCheca As Integer
```

```
Private Sub CmdLimpar_Click()
```

```
Dim j As Integer
```

```
Dim i As Integer
```

```
For j = 4 To 10
```

```
    For i = 5 To 11
```

```
        Cells(i, j).Value = ""
```

```
    Next i
```

```
Next j
```

```
Cells(16, 5).Value = ""
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CmdObtener_Click()
```

```
Dim P(1 To 8) As Double
```

```
Dim PA(1 To 8) As Double
```

```
Dim SumaP As Double
```

```
Dim N As Integer
```

```
Dim i As Integer
```

```
Dim Centinela As Integer
```

```
Dim Centinela2 As Integer
```

```
Dim Centinela3 As Integer
```

```
Dim SumaT As Integer
```

```
Dim Respuesta As Integer
```

```
Call Inicializa
```

```
Call Checa
```

```
If RespuestaCheca = 0 Then 'Inicio Procesos Generales
```

```
Centinela2 = 0
```

```
SumaT = 0
```

```
Respuesta = 0
```

```
SumaP = 0
```

```
For i = 1 To 7
```

```
If Not IsNumeric(Cells(i + 4, 4).Value) Then
```

```
Respuesta = MsgBox("Valor P(i) incorrecto. Registrar nuevamente.", vbCritical, "Valor no permitido")
```

```
Cells(i + 4, 4).Value = 0
```

```
Cells(i + 4, 4).Select
```

```
i = 8
```

```
End If
```

```
P(i) = Cells(i + 4, 4).Value
```

```
If P(i) >= 1 And Respuesta = 0 Then
```

```
Respuesta = MsgBox("Valor P(i)>=1 incorrecto. Registrar nuevamente.", vbCritical, "Valor no permitido")
```

```
Cells(i + 4, 4).Value = 0
```

```
i = 8
```

```
End If
```

SumaP = SumaP + P(i)

Next i

For i = 1 To 8

If Cells(i + 4, 4).Value <> 0 Then

Centinela = i

Centinela2 = Centinela2 + 1

End If

Next i

Centinela3 = 0

For i = 1 To Centinela

If Cells(i + 4, 4).Value = 0 Then

Centinela3 = Centinela3 + 1

End If

Next i

SumaT = Centinela3 + Centinela2

If Not IsNumeric(Cells(16, 5).Value) And Respuesta = 0 Then

Respuesta = MsgBox("Valor Total de Ciclones incorrecto. Registrar nuevamente.",  
vbCritical, "Valor no permitido")

Cells(16, 5).Value = 0

Cells(16, 5).Select

Else

N = Cells(16, 5).Value

End If

If N < Centinela2 And Respuesta = 0 Then

Respuesta = MsgBox("Valor Total de Ciclones menor al esperado. Al menos son " &  
Centinela2 & " Eventos.", vbCritical, "Valor no permitido")

Cells(16, 5).Select

End If

If Respuesta = 0 Then 'Hace Operaciones

For i = 1 To 7 'Obtiene la P(i) ajustada

Cells(i + 4, 5).Value = P(i) / SumaP

Next i

For i = 1 To Centinela - 1 'Obtiene la P(i) acumulada

Cells(5, 6).Value = Cells(5, 5).Value

Cells(i + 5, 6).Value = Cells(i + 4, 5).Value + Cells(i + 5, 5).Value

Next i

For i = 1 To 7 'Obtiene los eventos por tipo

Cells(i + 4, 7).Value = Cells(i + 4, 5).Value \* N



Next i

For i = 1 To 8 'Obtiene la tasa de excedencia

Select Case i

Case 1

Cells(11, 8).Formula = "=SUM(G5:G12)"

Cells(i + 4, 8).Value = Cells(11, 8).Value

Cells(11, 8).Value = ""

Case 2

Cells(11, 8).Formula = "=SUM(G6:G12)"

Cells(i + 4, 8).Value = Cells(11, 8).Value

Cells(11, 8).Value = ""

Case 3

Cells(11, 8).Formula = "=SUM(G7:G12)"

Cells(i + 4, 8).Value = Cells(11, 8).Value

Cells(11, 8).Value = ""

Case 4

Cells(11, 8).Formula = "=SUM(G8:G12)"

Cells(i + 4, 8).Value = Cells(11, 8).Value

Cells(11, 8).Value = ""

Case 5

Cells(11, 8).Formula = "=SUM(G9:G12)"

Cells(i + 4, 8).Value = Cells(11, 8).Value

Cells(11, 8).Value = ""

Case 6

Cells(11, 8).Formula = "=SUM(G10:G12)"

Cells(i + 4, 8).Value = Cells(11, 8).Value

Cells(11, 8).Value = ""

Case 7

Cells(11, 8).Formula = "=SUM(G11:G12)"

Cells(i + 4, 8).Value = Cells(11, 8).Value

Cells(11, 8).Value = ""

Case Else

End Select

Cells(11, 8).Value = Cells(11, 7).Value

Next i

For i = 1 To 7 'Pone -

If Cells(i + 4, 8).Value = 0 Then

Cells(i + 4, 8).Value = "-"

End If

Next i

For i = 1 To 7 'Obtiene la tasa de excedencia anual Pacifico

If Cells(i + 4, 8).Value <> "-" Then

Cells(i + 4, 9).Value = Cells(i + 4, 8).Value / 57

Else

Cells(i + 4, 9).Value = "-"

End If

```

If Cells(i + 4, 9).Value <> "-" Then 'Periodo de retorno
Cells(i + 4, 10).Value = 1 / Cells(i + 4, 9).Value
  If Cells(i + 4, 10).Value > 57 Then
    Cells(i + 4, 10).Value = 57
  End If
Else
Cells(i + 4, 9).Value = "-"
Cells(i + 4, 10).Value = "-"
End If
Next i

```

```

End If 'Fin de Operaciones

```

```

End If 'Fin de Procesos Generales
End Sub

```

```

Function Inicializa()
Dim j As Integer
Dim i As Integer

```

```

For j = 5 To 10
  For i = 5 To 11
    Cells(i, j).Value = ""
  Next i
Next j
End Function

```

```

Function Checa()
Dim CentinelaC As Integer
Dim i As Integer
RespuestaCheca = 0
CentinelaC = 0
For i = 5 To 11
  If Cells(i, 4).Value = "" Or Cells(i, 4).Value = 0 Then
    CentinelaC = CentinelaC + 1
    Cells(i, 4).Value = 0
  End If
Next i

```

```

  If CentinelaC = 7 Then
    RespuestaCheca = MsgBox("Ingresar valores en la columna P(i) Inter.",
vbCritical, "Valores vacios")
  End If

```

```

End Function

```

```

'-----FIN ALGORITMO-----

```

## **Anexo III**

### **Algoritmo para simular la variable aleatoria**

$$T = \sum_{j=1}^N S_j$$

Para mayores detalles consultar el Capítulo 4.

---

```
#-----INICIA ALGORITMO-----

#Programa realizado en el lenguaje de programacion Python (www.python.org)
#Autor: David Ricardo Mendoza Estrada
#Se generan 11000 variables aleatorias, pero las primeras 1000 son desechadas
#Los resultados se guardan en el archivo de texto "resultadosJajalpa.txt"
import random
import os.path
numVarAl=11000 #Numero de variables aleatorias a simular
p=0.5 #Probabilidad de que se realice una inundacion en un anio (Reciproco del periodo de retorno)
n=1 #n representa el numero de anios a simular
i=1
archivo=file('resultadosJajalpa.txt','w')#Comentario: Archivo de escritura para guardar los resultados
archivo.write("SIMULACION DE PERDIDAS (PESOS MEXICANOS) POR INUNDACION
EN UNA VIVIENDA DE TIPO IV UBICADA EN SANTA MARIA JAJALPA, TENANGO
DEL VALLE, ESTADO DE MEXICO, MEXICO.\n\n")
archivo.write("RESULTADOS:\n\n")
while i<=numVarAl:
    #Inicializacion de variables
    x=0.0
    perdida=0.0
    x3=0.0
    y3=0.0
    j=1
    for j in range(n):
        p1=random.random()
        if p1<=p:
            y3=random.random()
            if y3<=0.6 and y3>0.2:
                y1=0.6;y2=0.2;x1=6000;x2=15000
            elif y3<=0.2 and y3>=0.12:
                y1=0.2;y2=0.12;x1=15000.0;x2=16500.0
            elif y3<=0.12 and y3>=0.04:
                y1=0.12;y2=0.04;x1=16500.0;x2=138000.0
            elif y3<=0.04 and y3>=0.02:
                y1=0.04;y2=0.02;x1=138000.0;x2=141000.0
            elif y3<=0.02 and y3>=0.012:
                y1=0.04;y2=0.02;x1=141000.0;x2=144000.0
            elif y3<=0.012 and y3>=0.004:
                y1=0.012;y2=0.004;x1=144000.0;x2=156000.0
            elif y3<=0.004 and y3>=0.002:
                y1=0.004;y2=0.002;x1=156000.0;x2=225000.0
            elif y3<=0.002 and y3>=0.0012:
                y1=0.002;y2=0.0012;x1=225000.0;x2=228000.0
            elif y3<=0.0012 and y3>=0.001:
                y1=0.002;y2=0.0012;x1=228000.0;x2=285000.0
            else:
                y1=1;y2=0.6;x1=0.0;x2=6000.0
            x3=((x2-x1)*(y3-y1))/(y2-y1)+x1
            x=x+x3

    print i, ", ", x
    if i>1000:
        #dataContador=str(i)
```

```
        dataValor=str(x)
        #archivo.write(dataContador+", "+dataValor+"\n")
        archivo.write(dataValor+"\n")
    i=i+1
#-----FIN DEL ALGORITMO-----
```

## Bibliografía

### Libros

1. Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales en México. Rosengaus M., M. Jiménez E., M., y Vázquez C., M. T., CENAPRED, México, 2003.
2. Auge, caída y levantada de Felipe Pinillo, mecánico y soldador o yo voy a correr el riesgo, guía de la Red para la gestión local del riesgo. Gustavo Wilches - Chau. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. 1998.
3. Del Desastre al Desarrollo Sostenible: El Caso de Mitch en Centroamérica. Nora Garita y Jorge Nowalski, Allan Lavel. BID y CIDHS. 2000.
4. Desastres Urbanos: Una Visión Global. Allan Lavell, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales. 2000.
5. Efectos destructivos de ciclones tropicales. Rosengaus M., MAPFRE, 1998.
6. Elementos Actuariales para la determinación de la Pérdida Máxima Probable. Tesis para obtener el título de Actuarial. María Fernanda Cortina León. Facultad de Ciencias, UNAM, México, 2000.
7. Fascículo Ciclones Tropicales. Martín Jiménez Espinosa, Lucía Guadalupe Matías Ramírez, Óscar A. Fuentes Mariles, Ricardo Prieto González. Serie Fascículos. 1ª Edición, CENAPRED, México. 2003.
8. Fascículo Inundaciones. Marco Antonio Salas Salinas, Martín Jiménez Espinosa. Serie Fascículos. 1ª. Edición, CENAPRED, México. 2004.
9. Fascículo Sismos. M. En C. Carlos Gutiérrez Martínez, M. En I. Roberto Quaas Weppen, Dr. Mario Ordaz Schroeder, Ing. Enrique Guevara Ortiz, Dr. David Murriá Dávila. Serie Fascículos. CENAPRED, México. 2005.
10. Fascículo Tsunamis. M. C. Salvador F. Farreras, Dr. Ramón Domínguez Mora, M. C. Carlos A. Gutiérrez Martínez. Serie Fascículos. CENAPRED, México. 2005.
11. Fascículo Volcanes. Cervando de la Cruz Reyna. Serie Fascículos. CENAPRED, México. 2004.
12. Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Varios autores (consultar hoja legal). CENAPRED, México. 2004.
13. Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Riesgos Hidrometeorológicos. Héctor Eslava Morales, Martín Jiménez Espinosa, Marco Antonio Salas Salinas, Fermín García Jiménez, María Teresa Vázquez Conde, Carlos Baeza Ramírez, Óscar Arturo Fuentes Mariles, Lucía Guadalupe Matías Ramírez y David Ricardo Mendoza Estrada. CENAPRED, México. 2006.

14. Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos (Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social). Leonardo Flores Corona, Oscar López Bátiz, Miguel Ángel Pacheco Martínez, Carlos Reyes Salinas, Darío Rivera Vargas, Norlang García Arróliga, Rafael Marín Cambranis, Karla Méndez Estrada. CENAPRED, México. 2006.
15. Historia y Desastres Volumen I. Virginia García Acosta. CIESAS, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. México. 1996.
16. Impacto Socioeconómico de los desastres en México. Volumen 7, Centro Nacional De Prevención de Desastres. Varios autores. México. 2006.
17. Lecciones de Técnica Actuarial de los Seguros de Daños. Luigi Molinaro, Textos Universitarios, UNAM, 1976.
18. Los Huracanes en la época prehispánica y en el siglo XVI. Héctor Cuevas Fernández, Mario Navarrete Hernández. Instituto de Antropología de la Universidad Veracruzana. México. 2000.
19. Los Riesgos Catastróficos en México. Tesis para obtener el título de Actuaría. María Guadalupe Mondragón Contreras. Facultad de Ciencias, UNAM, México, 2000.
20. Los Riesgos Catastróficos en México. Tesis para obtener el título de Actuaría. María Guadalupe Mondragón Contreras. Facultad de Ciencias, UNAM, México, 2000.
21. National Information Service for Eartquake Engineering. Charles D James. University of California Berkeley. United States.
22. Regionalización para el cálculo de pérdida anual por inundación, empleando el método de la avenida índice. Tesis que para obtener el título de Ingeniero Civil. José Luís Reyes Blanco. Campus Acatlán, UNAM, 1998.
23. Statistical Methods in Hydrology. Charles T. Haan, 6ª Edición, 1994.
24. Técnicas modernas para el actuario. Tomás Garza. Fondo de cultura económica. México. 1998.
25. The Deadliest, Costliest, and Most Intense United States Hurricanes of This Century (and other Frequently Requested Hurricane Facts). Hebert, P.J. and Case, R.A. NOAA Technical Memorandum NWS NHC 31, Miami, Florida. 1990.
26. The Fragility of the Moment: Politics and Class in the Aftermath of the 1944 Argentine Earthquake. Mark Alan Healey, University of Mississippi. United States. 2002.

## **Artículos**

1. Algunos conceptos del análisis de riesgos. Mario Ordaz. Revista Prevención N° 14. México, 1996.
2. An Application of Extreme Value Theory for Measuring Risk. Manfred Gilli, Evis Këllezhi, Department of Econometrics, University of Geneva and FAME CH-1211 Geneva 4, Switzerland.
3. Flood insurance for Virginia. Virginia Water Resources Research Center. United States.
4. Comportamiento del seguro mexicano. Resultados al Tercer trimestre de 2005-2004. Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros. Rolando Vega Saénz. Presidente. Noviembre, 2005.
5. Comportamiento del seguro mexicano. Resultados al Cuarto trimestre de 2005-2004. Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros. Rolando Vega Saénz. Presidente. Febrero, 2006.

## **En Internet**

1. Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros. <http://www.amis.org.mx>
2. Bulletin of the Seismological Society of America; February 1988; v. 78; no. 1; p. 142-171 <http://www.bssaonline.org/cgi/content/abstract/78/1/142>
3. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. <http://www.cred.be/>
4. Centro Nacional de Prevención de Desastres. <http://www.cenapred.unam.mx>
5. Enciclopedia libre plurilingüe basada en la tecnología wiki. <http://es.wikipedia.org>
6. Historia general de Chile. Tomo cuarto. Diego Barros Arana. Capítulo XII. [http://www.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/46849452434351052754491/p0000012.htm#I\\_13\\_](http://www.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/46849452434351052754491/p0000012.htm#I_13_)
7. Inventario de desastres naturales en América Latina. <http://www.desinventar.org/>
8. ITIC International Tsunami Information Centre NOAA, Honolulu, Hawaii. <http://ioc3.unesco.org/itic/files/1952.pdf> <http://ioc3.unesco.org/itic/files.php?action=dlfile&fid=142>
9. Munich Reinsurance Company: NatCat. <http://mrnathan.munichre.com/>
10. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. <http://www.desenredando.org/>



11. Servicio Meteorológico Nacional, sección de ciclones.  
<http://smn.cna.gob.mx/ciclones/ciclones.html>

12. Terremotos en el tercer mundo, Anders Wijkman y Lloyd Timberlake. Servicio Sismológico Nacional. México.  
<http://www.ssn.unam.mx/SSN/Doc/CONACYT/86-66.htm>