



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**MODELO DE PÉRDIDA CATASTRÓFICA
APLICANDO LA TEORÍA DE LOS
VALORES EXTREMOS**

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

OSCAR BRAYAN GONZÁLEZ MONROY

Tutor:

ACT. JOSÉ FABIÁN GONZÁLEZ FLORES

2012





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

1. Datos del alumno

González

Monroy

Oscar Brayan

26139319

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

305287795

2.- Datos del Tutor

Actuario

José Fabián

González

Flores

3.- Sinodal 1

Doctor

Fernando

Baltazar

Larios

4.- Sinodal 2

Doctor

José Ramiro

Sánchez

Aguilar

5.- Sinodal 3

Maestro en Ingeniería

Juan Carlos

Vargas

Aguilar

6.- Sinodal 4

Actuario

Ricardo

Villegas

Azcorra

Titulo

Modelo de pérdida catastrófica aplicando la Teoría de los Valores Extremos.

98 páginas

2012

Agradecimientos

Gracias a mi Alma Mater, la mejor universidad: UNAM; por permitirme estar en sus instalaciones, en sus aulas y por dejar que excelentes profesores y amigos contribuyeran a mi preparación personal y profesional.

A la Facultad de Ciencias por brindarme el conocimiento actuarial para desenvolverme como profesionista en la sociedad. Así también por mostrarme la belleza, dificultad e intensidad de las matemáticas y brindarme lo necesario para ser una persona analítica.

Les agradezco de todo corazón a mis padres, hermanos y amigos por su tiempo, comentarios y apoyo total en cada momento de mi vida.

Al Actuario José Fabián González Flores, por ser mi amigo y haber sido mi asesor, por todo el tiempo que le dedicó a la dirección de esta tesis y por sus críticas constructivas que me impulsarán a ser mejor profesionista.

A mis sinodales los Doctores: Fernando Baltazar Larios y José Ramiro Sánchez Aguilar, Maestro en Ingeniería Juan Carlos Vargas Aguilar y al Actuario Ricardo Villegas Azcorra por sus valiosos comentarios y correcciones en la tesis.

A mi actual trabajo, Petróleos Mexicanos, por permitirme que en mis tiempos libres pudiera dedicarle unos instantes a este trabajo tan importante. A mis jefes: Ing. Antonio Rodríguez y Lic. Gustavo Antonio Luna Guasco por estar al pendiente de cada etapa de desarrollo y término de esta tesis, así como también sus comentarios y anécdotas compartidas.

A la CENAPRED por documentarme, puesto que la información que obtuve de ella formó parte importante para el desarrollo del primer capítulo.

A Joyce Vega por su crítica, tiempo y apoyo incondicional.

A Anahí Beltrán por su gran apoyo, por guiarme en la construcción de este trabajo tan importante para mi, gracias por estar al pendiente de cada proceso.

A mi profesor y amigo Luis David Álvarez por sus valiosos conocimientos y consejos durante y después de la carrera.

A mi amigo Jonathan González Salgado por sus consejos y herramientas brindadas para el desarrollo de esta tesis.

A Viry Salazar, Fernando Gutiérrez y al Hermano Salazar por su interés de leer esta tesis concluida.

Gracias a cada uno de ustedes por estar ahí en el momento justo.

Dedicatorias

A Hilda Monroy Cedillo y Antonio González Landeros por estar en cada instante de mi vida, por brindarme lo necesario para llegar a esta primera gran etapa concluida. Se las dedico porque en cada esfuerzo realizado en este trabajo, lleva impreso sus consejos, enseñanzas y valores que me han inculcado. Además, sin su instrucción en el camino de los retos y superación, este trabajo no pudo haber concluido. Por todo esto y demás, esta tesis está dedicada a mi mamá y papá.

A Viri y José, mis hermanos, por brindarme tiempo y espacio para la elaboración de este trabajo tan importante en mi trayectoria profesional.

A mi tío Jesús González Landeros por haber sido pieza clave en mi comienzo de mi vida académica e infancia, que en paz descanse.

A mis tíos José Luis, Patricia, Ignacio, Virginia y a mi padrino Jorge Díaz por estar ahí en cada momento académico y ser ejemplos a seguir.

Se la dedico a mis futuros hijos para que les motive a prepararse y ser de los mejores en todo lo que se propongan y les inspire para que concluyan cada una de sus metas en la vida.

Finalmente, les dedico esta tesis a todos mis profesores y amigos que han apoyado y han estado conmigo en toda mi trayectoria porque de no ser así, quizá no existiría el presente trabajo.



Brayan González.

Índice General

Índice de cuadros	I
Índice de figuras	II
Introducción	1
Capítulo 1. Las causas y efectos de los eventos catastrófico	3
1.1 Introducción	3
1.2 Evento catastrófico	4
1.3 Definición	4
1.4 Clasificación y medición	7
1.5 Cronología de fenómenos	11
1.5.1 Sismos, temblores o terremotos	12
1.5.2 Tsunamis, huracanes, inundaciones y desbordamientos	15
1.5.3 Incendios y sequías.....	17
1.6 Causas de eventos catastróficos	19
1.6.1 Cambio climático	19
1.6.2 Sobreexplotación de recursos y contaminación.	20
1.6.3 Sobrepoblación	21
1.7 Efectos	22
1.7.1 Daños materiales.....	22
1.7.2 Daños consecuenciales.....	23
1.7.3 Pérdida de vidas humanas	24
Capítulo 2. La teoría de valores extremos y la pérdida máxima probable.....	25
2.1 Introducción	25
2.2 Teoría de Valor Extremo	25
2.2.1 Antecedentes	27
2.2.2 Planteamiento teórico.....	28
2.2.2.1 Distribución del Máximo. Teorema de Fisher-Tippet.....	29
2.2.3 Modelos de Umbral.....	33
2.2.3.1 Máximos de los bloques.....	34
2.2.3.2 Excesos sobre el umbral.....	34
2.2.4 Modelos de colas pesadas.....	38
2.3 La pérdida máxima probable.....	39
2.4 Metodología de cálculo.....	39
Capítulo 3. Simulación estocástica de la pérdida catastrófica.	40
3.1 Introducción	40
3.2 Aplicación numérica	40
3.3 Prueba de Normalidad	41
3.4 Selección de Umbral.....	45
3.5 Estimación de Parámetros	47
3.6 Escenarios de simulación	48
3.6.1 Escenario sismo	48
3.6.2 Escenario fenómenos hidrometereológicos	59

3.6.3 Escenario incendio	72
Conclusiones	83
Bibliografía.....	86

Índice de cuadros

Cuadro 1.1 Definición de evento catastrófico	6
Cuadro 1.2 Clasificación de desastres	8
Cuadro 1.3 Clasificación de desastres de acuerdo a su duración y frecuencia	9
Cuadro 1.4 Clasificación de desastres naturales por la OPS	9
Cuadro 1.5 Clasificación de riesgos de acuerdo a la CENAPRED	10
Cuadro 1.6 Los 10 eventos catastróficos más costosos en México.....	11
Cuadro 1.7 Los 6 eventos con mayor frecuencia en México, desde 1970	11
Cuadro 1.8 Los 15 sismos con mayor magnitud en México, 2000-2012	14
Cuadro 1.9 Clasificación de tsunamis	15
Cuadro 1.10 Nomenclatura de los ciclones tropicales	16
Cuadro 1.11 Estadísticas de los 15 estados más afectados por inundaciones	17
Cuadro 1.12 Tipos de incendios forestales	17
Cuadro 1.13 Frecuencia de incendios forestales, desde 1970	18
Cuadro 1.14 Los 10 estados con mayor población desde 1990	21
Cuadro 1.15 Número de viviendas afectadas por catástrofes desde 1970	23
Cuadro 2.1 Historia de la TVE	27
Cuadro 2.2 Tipos de distribuciones	32
Cuadro 2.4 Distribuciones y tipo de colas.....	38
Cuadro 3.1 Datos para escenario de sismo, de 1970 a 2009.....	48
Cuadro 3.2 Pruebas para definir la distribución de pérdidas humanas por sismo	52
Cuadro 3.3 Parámetros de las distribuciones de pérdidas humanas por sismo	52
Cuadro 3.4 Pruebas para definir la distribución de pérdidas económicas por sismo	57
Cuadro 3.5 Parámetros de las distribuciones de pérdidas económicas por sismo	57
Cuadro 3.6 Datos para escenario de fenómenos hidrometeorológicos de 1970 a 2009	59
Cuadro 3.7 Pruebas para definir la distribución de los datos de pérdidas humanas por f.h.....	63
Cuadro 3.8 Parámetros de las distribuciones de pérdidas humanas por f.h.	64
Cuadro 3.9 Pruebas para definir la distribución de los datos de pérdidas económicas por f.h.	68
Cuadro 3.10 Parámetros de las distribuciones de pérdidas económicas por f.h.	69
Cuadro 3.11 Datos para escenario de incendio en México, de 1970 a 2009	72
Cuadro 3.12 Pruebas para definir la distribución de los datos de pérdidas humanas por incendio	75
Cuadro 3.13 Parámetros de las distribuciones de pérdidas humanas por incendio	76
Cuadro 3.14 Pruebas para definir la distribución de pérdidas económicas por incendio	80
Cuadro 3.15 Parámetros de las distribuciones de pérdidas económicas por incendio	80

Índice de figuras

Figura 1.1 Placas tectónicas en México	12
Figura 1.2 Epicentros de sismos superiores a 6.5 grados Richter	13
Figura 1.4 Frecuencia de inundaciones en México, 1970-2010	16
Figura 1.5 Frecuencia de sequías en México	18
Figura 2.1 Los 7 eventos distintivos de la Teoría de Valores Extremos	28
Figura 3.1 Funciones de densidad Normal (0,1) y de valores extremos	41
Figura 3.2 Pérdidas humanas por sismo en México	49
Figura 3.3 Estadísticos e histograma de pérdidas humanas por sismo	50
Figura 3.4 Gráfico de vida residual y elección de umbral de pérdidas humanas por sismo	50
Figura 3.5 Diagrama de pérdidas humanas por sismo con el umbral seleccionado	51
Figura 3.6 Función de densidad, gráfico <i>pp</i> y <i>qq</i> de pérdidas humanas por sismo	53
Figura 3.7 Distribución DGP y GEV de pérdidas humanas por sismo	53
Figura 3.8 Distribución que mejor se ajusta a los datos de pérdidas humanas por sismo	54
Figura 3.9 Pérdidas económicas por sismo en México	54
Figura 3.10 Estadísticos e histograma de pérdidas económicas por sismo	55
Figura 3.11 Gráfico de vida residual de pérdidas económicas por sismo	56
Figura 3.12 Diagrama de pérdidas económicas por sismo con el umbral seleccionado	56
Figura 3.13 Función de densidad, gráfico <i>pp</i> y <i>qq</i> de pérdidas económicas por sismo	58
Figura 3.14 Distribución DGP y GEV de pérdidas económicas por sismo	58
Figura 3.15 Distribución que mejor se ajusta a los datos de pérdidas económicas por sismo	59
Figura 3.16 Pérdidas humanas por fenómenos hidrometereológicos	60
Figura 3.17 Estadísticos e histograma de pérdidas humanas por f.h.	61
Figura 3.18 Gráfico de vida residual y elección de umbral de pérdidas humanas por f.h.	62
Figura 3.19 Diagrama de pérdidas humanas por f.h. con el umbral seleccionado	62
Figura 3.20 Función de densidad, gráfico <i>pp</i> y <i>qq</i> de pérdidas humanas por f.h.	64
Figura 3.21 Distribución DGP y de pérdidas humanas por f.h.	65
Figura 3.22 Distribución que mejor se ajusta a los datos de pérdidas humanas por f.h.	65
Figura 3.23 Pérdidas económicas por f.h. en México, de 1970 a 2009	66
Figura 3.24 Estadísticos e histograma de pérdidas económicas por f.h.	67
Figura 3.25 Vida residual de pérdidas económicas por fenómenos hidrometereológicos	67
Figura 3.26 Diagrama de pérdidas económicas por f.h. con el umbral seleccionado	68
Figura 3.27 Función de densidad, gráfico <i>pp</i> y <i>qq</i> de pérdidas económicas por f.h.	69
Figura 3.28 Distribución DGP y GEV de pérdidas económicas por f.h.	70
Figura 3.29 Distribución que mejor se ajusta a los datos de pérdidas económicas por f.h.	71
Figura 3.30 Pérdidas humanas en incendio	73
Figura 3.31 Estadísticos e histograma de pérdidas humanas por incendio	73
Figura 3.32 Vida residual de pérdidas humanas por incendio	74
Figura 3.33 Diagrama de pérdidas humanas por incendio con umbral seleccionado	75
Figura 3.34 Función de densidad, gráfico <i>pp</i> y <i>qq</i> de pérdidas humanas por incendio	76
Figura 3.35 DGP y GEV de pérdidas humanas por incendio	77
Figura 3.36 Distribución que mejor se ajusta a los datos de pérdidas humanas por incendio	77
Figura 3.37 Pérdidas económicas por incendio en México, de 1970 a 2009	78

Figura 3.38 Estadísticos e histograma de pérdidas económicas por incendio	78
Figura 3.39 Vida residual de pérdidas económicas por incendio.....	79
Figura 3.40 Diagrama de pérdidas económicas por incendio con el umbral seleccionado	79
Figura 3.41 Función de densidad, gráfico <i>pp</i> y <i>qq</i> de pérdidas económicas por incendio.....	81
Figura 3.42 Distribución DGP y GEV de pérdidas económicas por incendio.....	81

Introducción

El objetivo de esta tesis es identificar las características, las causas y los efectos de un evento catastrófico con el propósito de cuantificar la pérdida catastrófica agregada y, a partir de la Teoría de los Valores Extremos, y la distribución del máximo, proponer un modelo que permita inferir, mediante escenarios de simulación, la pérdida máxima probable por sismo, fenómenos hidrometeorológicos e incendio.

El ser humano, a lo largo de la historia, ha vivido y comprendido que existen sucesos en la naturaleza que son fortuitos, medibles y lícitos, los cuales le han ocasionado severas pérdidas. Éstos, con el paso del tiempo, han sido observados y analizados y, hoy en día, se busca crear herramientas técnicas que permitan encontrar aquellos puntos clave que sean característicos de una determinada muestra de siniestros.

Las grandes ruinas, sean de índole natural -tremendas inundaciones ó fuertes terremotos- ó causadas por el hombre -grandes pérdidas industriales- se consideran eventos catastrófico, los cuales poseen una magnitud que superan las capacidades de adaptación en el lugar donde se originan, ocasionando siniestros de forma significativa e inesperada.

La importancia del análisis de los eventos catastrófico radica en la relación que guarda la frecuencia y severidad. La primera muestra las veces en el que los sucesos se presentan, teniendo en mente que se presentan de manera fortuita y la segunda, refleja las pérdidas materiales y monetarias las cuales son de alta dimensión afectando en forma masiva e indiscriminada, el comportamiento de estas dos variables generan la necesidad de crear un modelo eficiente que denote sus funciones de distribución de distribución. En este contexto, el objetivo de este trabajo es usar modelos matemáticos sólidos que permitan comprender su impacto.

Los eventos extremos ó catastrófico ocurren cuando un riesgo toma valores de la cola de su distribución, una rama de la teoría de la probabilidad que toma gran importancia en la modelación de estos eventos es la Teoría de Valores Extremos (TVE), la cual se ha desarrollado rápidamente en las últimas dos décadas, buscando proporcionar métodos que permitan cuantificar los eventos extremos y sus consecuencias de manera óptima desde el punto de vista estadístico y riesgo.

Además, a lo largo de este tiempo de desarrollo, se ha convertido en una herramienta significativa para las instituciones financieras, aseguradoras y reaseguradoras, ya que provee procedimientos para estimar probabilidades relacionadas con las pérdidas catastrófico, es decir, dado que se conocen los posibles eventos catastrófico que han ocurrido a lo largo de la historia, es posible inferir impactos futuros. Es importante resaltar que un postulado principal está en los valores más bajos o más altos de la variable de estudio, es decir, su objetivo de exploración está en los eventos asociados a la cola de la distribución.

En esta tesis, las variables aleatorias que se considerarán representarán pérdidas. Así, cuando se trate de la parte derecha del soporte de una distribución, se estará infiriendo pérdidas muy grandes y en contraparte al considerar el segmento de la izquierda del soporte de la distribución se estiman pérdidas pequeñas.

En general, hay dos maneras de modelar valores extremos: La primera se denomina *máxima por bloques*. Aquí se recauda observaciones más grandes para un periodo dado suponiendo grandes muestras de observaciones idénticamente distribuidas. El método discrimina una gran cantidad de datos y está relacionada con las *Distribuciones Generalizadas de Valores Extremos* (DVE). El segundo método es conocido como *excesos sobre un umbral*. Aquí el modelo discrimina menos datos y se considera muy útil en aplicaciones prácticas.

La tesis se desarrolla *grosso modo* en tres capítulos:

En el primer Capítulo I, se buscará identificar las características, desarrollo a través del tiempo, causas y efectos de los eventos catastróficos con el fin de cuantificar la pérdida catastrófica agregada a partir de la Teoría de los Valores Extremos.

Por su parte, el Capítulo II, abordará el desarrollo general de la Teoría de Valores Extremos (TVE), modelos de colas pesadas y umbral, teoremas y postulados estadísticos útiles serán expuestos con el fin de dar soporte teórico a la comprensión de los eventos catastróficos. Posteriormente, se enfocará en la simulación de la pérdida máxima probable para determinar una metodología de cálculo aplicable a estos eventos peculiares.

Finalmente en el Capítulo III, se aplicará la metodología propuesta en el capítulo anterior para visualizar el impacto de estos eventos, creando escenarios de simulación para sismos, fenómenos hidrometeorológicos e incendio.

Capítulo 1. Las causas y efectos de los eventos catastrófico

1.1 Introducción

Entender qué es un evento catastrófico, comprender sus clasificaciones, usar herramientas matemáticas para su medición; aterrizar estos eventos en una línea de tiempo, valorar y mostrar cómo se han desarrollado y, a todo esto, adicionarle detalles importantes: causas y efectos, son los pilares fundamentales del presente capítulo.

Para que tenga mejor sentido lo que se va a desarrollar en el presente estudio, es indispensable que desde el principio se comprenda la definición de un evento catastrófico; debido a que es el sujeto del trabajo a realizar. Independientemente que existan varios puntos de vista en torno a este concepto, se va a requerir que se unifiquen para comprender, en ideas claras y bien detalladas, su magnitud, su impacto social y, sobre todo, el impacto económico que conlleva.

Después de consolidar una definición de qué es un evento catastrófico, se busca desglosar y comprender todo lo concerniente a las diversas clasificaciones que posee este tópico. Estas categorizaciones de un evento catastrófico impactan de manera significativa en el desarrollo de esta investigación para tener un amplio panorama para la comprensión de dónde y cómo se desarrollan con el propósito de utilizar modelos matemáticos ó simplemente dejar bien definido dos aspectos de relevancia: frecuencia y severidad. Para ello, se recurre a información histórica de los eventos catastrófico más relevantes, con el fin de aplicar las herramientas matemáticas, observar comportamientos estadísticos, analizar resultados y, así, obtener elementos característicos de los eventos catastrófico.

Posteriormente, se muestra una cronología detallada de los eventos más representativos en la historia del mundo como los fenómenos naturales potencialmente peligrosos: sismos, temblores, terremotos, huracanes, inundaciones, incendios, entre otros; con detalles de sus efectos provocados y qué acciones de protección y prevención se tomaron en cuenta después de su ocurrencia.

Para comprender el porqué se originan estos eventos, se presentan las características del cambio climático, el cual, mientras va avanzando el tiempo, está siendo el protagonista fundamental de estos eventos. Los sucesos trágicos, aunque sean idénticamente independientes, provocan resultados similares. La pérdida de vidas humanas y la devastación de bienes materiales son las repercusiones inmediatas y directas de las catástrofes naturales.

Por lo tanto, este primer capítulo busca dejar claro todos aquellos aspectos relevantes de los eventos catastrófico. Es obvio que éstos son quienes acaparan frecuentemente los medios de comunicación y provocan que la sociedad se voltee con un posible interés en seguir el rastro; sin embargo, existen profesionistas que les importan y se enfocan en gran medida en su origen, desarrollo, consecuencias y, más aún, comprender cómo se comporta y prevenirlos para ofrecer acciones preventivas.

1.2 Evento catastrófico

En medida como pasa el tiempo, acontecen sucesos que afectan cada vez más a los seres humanos y al planeta, estos hechos son llamados eventos catastróficos. Existen diferentes eventos catastróficos, y los que se van a presentar son aquellos desastres denominados naturales, nombrados así, porque sin que el hombre intervenga directamente, la naturaleza es capaz de provocarlos por sí sola; como por ejemplo, el movimiento de las placas tectónicas de la Tierra.

Los desastres naturales es un tema que actualmente se hace más común y que a pesar de que el mundo ya los ha vivido en diversas ocasiones, sigue sin estar preparado y sin darle la importancia debida para hacerles frente a los próximos desastres e incluso para evitarlos o tratar de que se pierda menos como sociedad.

En México han ocurrido, por efecto de desastres, alrededor de 10,000 muertes, de 1980 a 1999, aproximadamente 500 cada año. Las pérdidas económicas calculadas alcanzan 9,600 millones de dólares, con un monto promedio anual cercano a los 500 millones de dólares [Bitrán, 2000].

Una estimación de las víctimas fatales en México a consecuencia de fenómenos hidrometeorológicos arroja 2,767 personas, lo que representa un promedio cercano a los 140 individuos fallecidos anualmente. La cantidad de daños totales por este tipo de fenómenos, de 1980 a 1999, fue de 4,537 millones de dólares, lo que en promedio arroja 227 millones de dólares en pérdidas anuales.

El objetivo es mostrar cómo han afectado el *hábitat* del ser humano y concebir qué impacto provoca en aspectos materiales, económicos y sociales. Asimismo, entender cuál es su conducta y bajo qué condiciones ocurren, crear modelos estadísticos de óptimo ajuste que representen su aleatoriedad en el mundo y brindar acciones de mejora.

1.3 Definición

A lo largo de la historia, los eventos catastróficos han estado presentes en el mundo, provocando que los seres humanos evolucionen la manera de conceptualizar a estos sucesos. La orientación de un suceso de esta categoría puede ser económica, biológica, geográfica, social ó alguna combinación de ellas; las cuales le dan distintos enfoques a este mismo evento. Sin embargo, se desea tomar las distintas maneras de pensar para contextualizar en ideas unificadas de manera que sea aplicable al objetivo general del presente trabajo.

Las catástrofes naturales siempre se relacionan con fenómenos naturales. Las primeras son parte de la naturaleza, la cual funciona con sus propias leyes y son inevitables, provocando pérdidas, daños materiales y humanos. Sin embargo, la ocurrencia de un fenómeno natural, sea ordinario ó incluso extraordinario (mucho más en el primer caso) no precisamente provoca un desastre natural. Se entiende que la Tierra sigue en actividad segundo tras segundo, esto se debe a que aún no ha

terminado su proceso de formación y en el *inter* de evolución, provoca cambios en su faz exterior, los fenómenos deben ser considerados siempre como elementos activos de la geomorfología terrestres. Temblores, lluvias y huracanes no necesariamente siempre se deben considerar como desastrosos. A todo esto, se señala que un evento catastrófico es la correlación entre fenómenos naturales peligrosos como un terremoto, un huracán y un maremoto, y determinadas condiciones socioeconómicas y físicas vulnerables como situación económica precaria, viviendas mal construidas, tipo de suelo inestable, mala ubicación de la vivienda, etcétera [Romero y Maskrey, 1993].

Todo lo anterior, indica que los efectos de ciertos fenómenos naturales no son necesariamente adversos. Se deben considerar así, únicamente cuando los efectos que produce afectan la manera de vivir de los seres humanos que, frecuentemente está en función de una determinada zona geográfica. Un fenómeno natural es considerado peligroso y evento catastrófico cuando ocurre en situaciones vulnerables. Se debe reflexionar que no todo fenómeno es peligroso para el ser humano debido a que desde que el hombre ha estado en la Tierra, han formado parte de nuestro medio ambiente; por ejemplo, las lluvias de temporada, pequeños temblores, vientos, granizo y nevada.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)¹, define a un evento catastrófico como un acontecimiento con la suficiente magnitud, que altera la estructura básica y el funcionamiento normal de una sociedad, ocasionando víctimas, pérdidas de bienes materiales, daños en infraestructura, transformaciones en servicios esenciales más allá de la capacidad normal de las comunidades o instituciones encargadas de dar soporte a la región. CEPAL también considera desastres naturales a los fenómenos que no son producidos por la acción directa del hombre.

Por otra parte, la Organización Panamericana de Salud², conceptualiza a un evento catastrófico como aquel fenómeno natural que incluye efectos nocivos como pérdida de vidas y/o alteraciones en infraestructuras. La OPS adiciona dos elementos sobresalientes en los eventos catastróficos: amenaza y vulnerabilidad. El primero lo relaciona al fenómeno natural y el segundo, a la susceptibilidad de una población a los efectos del peligro.

Es importante que se añada a la comprensión de este concepto el término riesgo; debido a que también es un aspecto fundamental en esto de los eventos catastróficos. La probabilidad de que un determinado sistema o población resulten afectados por los peligros se conoce como riesgo. El peligro *P*, es la probabilidad de que se presente un evento de cierta intensidad, que pueda ocasionar daños en un sitio dado. Por su parte, se define como grado de exposición *E* a la cantidad de personas, bienes y sistemas que se encuentran en el sitio considerado y que es factible sean dañados por el evento. Se llama vulnerabilidad *V*, a la propensión de estos sistemas a ser afectados por el evento; la vulnerabilidad se expresa como una probabilidad de daño. Finalmente, el riesgo es el resultado de los tres factores, que se obtiene como:

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} * \text{Exposición} * \text{Vulnerabilidad} \quad R = P * E * V$$

¹ Es el organismo dependiente de la ONU responsable de promover el desarrollo económico y social de la región.

² Es el organismo especializado de salud del sistema interamericano, afiliada a la Organización Mundial de la Salud, está dedicada a controlar y coordinar políticas que promuevan la salud y el bienestar en los países americanos.

Bajo este esquema, el riesgo se expresa como un resultado posible de un evento, debido a que P y V son probabilidades y E puede representarse en términos económicos; entonces, R resulta igual a una proporción del costo total de los sistemas expuestos que se espera sea afectada por el evento catastrófico.

Para Jean Lemaire, un riesgo catastrófico se define como el riesgo que puede generar pérdidas que excedan la absorción de capacidad de los mayores aseguradores o reaseguradores³. Por su parte, en el sector asegurador, Mapfre caracteriza al riesgo catastrófico como aquél que tiene su origen en hechos o acontecimientos de carácter extraordinario, tales como fenómenos atmosféricos de elevada gravedad, movimientos sísmicos, conmociones o revoluciones militares o políticas; cuya propia naturaleza anormal y la elevada intensidad y cuantía de los daños que de ellos pueden derivarse impiden que su cobertura quede garantizada en una póliza de seguro ordinario⁴.

Desde la óptica de la solvencia de las entidades aseguradoras, se define una catástrofe como una acumulación de siniestros individuales, que suponen grandes daños, causados por uno o varios eventos. Cuando las aseguradoras se refieren a una catástrofe, normalmente se hace referencia a una catástrofe natural o todo siniestro causado por las fuerzas de la naturaleza, que provoque una multitud de siniestros individuales y afecte a un gran número de pólizas y, a menudo, a varios ramos del sector asegurador⁵. En el cuadro 1.1 se muestra las ideas principales de la definición de un evento catastrófico de las diversas orientaciones.

Cuadro 1.1 Definición de evento catastrófico

Perspectiva	Autor	Definición
Biológica-Social	Romero y Maskrey	Un evento catastrófico es la correlación entre fenómenos naturales peligrosos y determinadas condiciones socioeconómicas y físicas vulnerables.
Social	Comisión Económica para América Latina y el Caribe	Un evento catastrófico es un acontecimiento con la suficiente magnitud, que altera la estructura básica y el funcionamiento normal de una sociedad, ocasionando víctimas y daños de bienes materiales, infraestructura y afectando servicios esenciales.
Salud	Organización Panamericana de Salud	Un evento catastrófico es aquel fenómeno natural que se combina con pérdidas.
Seguros	Mapfre	Son aquellos acontecimientos que presentan una elevada intensidad y cuantía de los daños y que su cobertura queda garantizada en una póliza de seguro ordinario.
Seguros	Suiza de Reaseguros	Una catástrofe es una acumulación de siniestros individuales, que suponen grandes daños, causados por uno o varios eventos.

Fuente: Elaboración del autor a partir *The mathematical modelling of catastrophe claims. International Prize in Actuarial Science: Cat Risks*, 1993; Diccionario Mapfre de Seguros. 1992; Catástrofes de la naturaleza y grandes siniestros en 1995: Disminución frente al año anterior, pero siniestralidad invariadamente elevada desde 1989. Sigma, Suiza de Reaseguros.

³ LEMAIRE, J. : *The mathematical modelling of catastrophe claims*. International Prize in Actuarial Science: Cat Risks. 1993

⁴ CASTELO MATRAN, J.; y GUARDIOLA LOZANO, A.: Diccionario Mapfre de Seguros. Mapfre. 1992

⁵ SUIZA DE REASEGUROS: "Catástrofes de la naturaleza y grandes siniestros en 1995: disminución frente al año anterior, pero siniestralidad invariadamente elevada desde 1989". Sigma, Suiza de Reaseguros, 2/96

El cuadro 1.1, remarca las diversas maneras de comprender a un evento catastrófico. En su mayoría, los relacionan con fenómenos naturales y daños materiales; sin embargo, es tiempo de considerar una definición apta, pues sobre ella se enfocan los diversos tópicos del presente trabajo.

Existe una gran diferencia entre fenómeno natural y evento catastrófico, independientemente que algunos de los primeros estén contenidos en el segundo. En este contexto, se procede a la unificación de estos conceptos.

Un fenómeno natural es aquella reacción que tiene la Tierra debido a su proceso de evolución y desarrollo. Se comprende que el ser humano ha vivido estos cambios desde que existe en este planeta, por lo tanto no debe parecer fortuita una lluvia en otoño o invierno, ni mucho menos un sismo de magnitud mínima, debido a que ambos forman parte de este paso evolutivo del lugar donde se vive. Sin embargo, a esto se debe anexar un dato muy relevante que se considera en puntos posteriores: el cambio climático.

Un evento catastrófico posee características similares a las de un fenómeno natural pero con una frecuencia y severidad muy significativas. En la mayoría de las ocasiones, se le considera bastante peligroso y principal responsable de pérdidas de vidas humanas, daños materiales y consecuencias; todas estas afectaciones, superan la capacidad de la sociedad afectada para hacer frente a la situación utilizando únicamente sus propios recursos.

1.4 Clasificación y medición

Desde que el hombre ha estado en este planeta, como ente que se desarrolla continuamente, ha comprendido que la existencia de los eventos catastróficos puede estar presente en cualquier momento y, por ello, los ha clasificado dependiendo de su naturaleza, para así, poder entender de alguna manera los impactos que pueden provocar, suponiendo que los diferentes tipos de eventos catastróficos de una misma categoría provocan resultados ó repercusiones similares⁶.

La medición, es pieza fundamental para comprender las implicaciones de los eventos catastróficos. Mediante el uso de la frecuencia y severidad, se puede obtener información muy valiosa que expresa el comportamiento real de cualquier evento catastrófico. La Teoría del Riesgo toma gran participación en la modelización de estos fenómenos ya que en base en teoría matemática y actuarial muy sustentada, posee gran estructura y es muy ambiciosa en estos tópicos donde existe pérdida, incorporado a éste último elemento, se tiene en cuenta la importancia de la siniestralidad.

⁶ La clasificación, es algo de suma importancia para varios especialistas. Estos rubros no son únicamente para biólogos, geógrafos o cualquier profesión relacionada por la naturaleza; sino que también se han ido creando y desarrollando otras profesiones las cuales han dirigido su atención a estos tópicos, un ejemplo claro es la actuaría: apoyándose con el comportamiento de los números, puede dar pronósticos, acciones de mejora y prevención para estos eventos.

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), el Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC), con la colaboración técnica del Instituto Internacional de Ciencias de la Geo-información y Observación de la Tierra (*International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation*, ITC) desarrollan a partir de 1999 el Programa de Acción Regional para Centro América (RAPCA). Este proyecto tiene como finalidad la integración del conocimiento existente sobre la ocurrencia de fenómenos naturales y el uso de información geográfica en la zonificación de amenazas asociadas a estos eventos y su transferencia a instituciones involucradas en la toma de decisiones en el ordenamiento y desarrollo territorial; así como de las regulaciones y legislaciones apropiadas. En el cuadro 1.2 se presentan la clasificación que combina al hombre y los fenómenos naturales, los eventos catastróficos más devastadores y los desastres de acuerdo con la duración del impacto y la frecuencia de acuerdo al tiempo de ocurrencia.

Cuadro 1.2 Clasificación de desastres

Combinación entre naturales y realizados por el hombre.				
Fenómenos Naturales		Algunas influencias humanas	Influencias humanas y naturales	Algunas influencias naturales
Aurora boreal		Inundaciones	Aumento nivel del mar	Incendios
Borrascas Tormentas		Sequías	Corrimientos de tierra	Lluvia ácida
Ciclones		Tormentas de polvo	Desertificación	Malas cosechas
Erupciones Volcánicas			Erosión	Plagas de insectos
Glaciales Lagos	Tornados		Erosión costera	Reducción del ozono
Granizos	Relámpagos		Hundimientos	
Huracanes	Tempestades de nieve		Efecto invernadero	
Impacto Asteroide			Quema de carbón	
Terremotos	Tsunami			
De acuerdo a los principales factores que lo desencadenan.				
Meteorológicos		Geomorfológicos/ Geológicos	Ecológicos	Medio ambiente
Borrascas		Avalanchas de nieve	Malas cosechas	Lluvia ácida
Ciclones	Huracanes	Contaminación del agua	Plagas de insectos	Atmosféricos
Granizos		Erupciones volcánicas	Tsunami	Contaminación
Inundaciones		Erosión costera		Efecto invernadero
Relámpagos		Explosiones		Descenso del ozono
Sequía		Glaciales		
Tormentas		Hundimientos		
Tornados		Terremotos		

Fuente: Elaboración del autor a partir de Teledetección para el manejo de Desastres Naturales, UNESCO RAPCA.

Cuadro 1.3 Clasificación de desastres de acuerdo a su duración y frecuencia

Tipo de desastre	Duración del impacto	Longitud prevención	Frecuencia
Relámpagos	Instantáneo	Segundos-horas	Al azar
Avalanchas de nieve	Segundos-minutos	Segundos-horas	Estacional
Terremotos	Segundos-minutos	-	Normal
Tornados	Segundos-horas	Minutos	Estacional
Corrimiento de tierras	Segundos-décadas	Segundos-años	Estacional: irregular
Intensas lluvias torrenciales	Minutos	Segundos-horas	Estacional diurna
Granizadas	Minutos	Segundos-horas	Estacional diurna , gamma
Tsunami	Minutos-horas	Minutos-horas	Al azar
Diluvios	Minutos-horas	Minutos-días	Estacional Markoviano, gamma,
Hundimientos	Minutos-días	Segundos-años	Normal
Erupciones volcánicas	Minutos-décadas	Minutos-semanas	De repente o progresivo
Ciclones/Huracanes	Minutos-años	Horas-días	Irregular
Incendios	Horas-días	Segundos-días	Estacional / irregular
Erosión costeras	Horas-décadas	Horas	Estacional
Sequías	Días-meses	Días-semanas	Estacional/ irregular
Cosechas enfermas	Semanas-meses	Días-meses	Exponencial/gamma
Desertificación	Años-décadas	Meses-años	Estacional irregular , gamma

Fuente: Elaboración del autor a partir de Teledetección para el manejo de Desastres Naturales, UNESCO RAPCA.

Por su parte, la Organización Panamericana de la Salud (OPS), concuerda en algunos aspectos con UNESCO RAPCA; sin embargo, la OPS solo engloba algunos eventos catastróficos en 4 subcategorías como se muestra en el cuadro 1.4.

Cuadro 1.4 Clasificación de desastres naturales por la OPS

Meteorológicos	Geomorfológicos Geológicos	Ecológicos	Medio ambiente
Ciclones y huracanes.	Terremotos	Malas cosechas	Lluvia ácida
Inundaciones	Tsunamis	Plagas de insectos	Contaminación
Sequía	Avalanchas de nieve		Efecto invernadero
Tormentas locales severas	Hundimientos		Descenso de la capa de ozono

Fuente: Elaboración del autor a partir de la Organización Panamericana de la Salud.

Una división de riesgos catastróficos más reciente los separa en riesgos originados por fuerzas de la naturaleza, riesgos tecnológicos y riesgos medioambientales⁷.

⁷ KUNREUTHER, H.: "Rethinking Society's Management of Catastrophic Risks". *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, 22 (n° 83), Abril, 1997.

En México, el Sistema Nacional de Protección Civil y Consejo Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED) han adoptado una clasificación riesgos basada en el tipo de agente perturbador que los produce, mostrándose en el cuadro 1.5

Cuadro 1.5 Clasificación de riesgos de acuerdo a la CENAPRED

Riesgo	Descripción
Geológicos	Se centran en el estudio de los sismos y de la inestabilidad de laderas
Hidrometeorológicos	Se encuentran los ciclones tropicales, las inundaciones, las nevadas y bajas temperaturas.
Químicos	Evalúa los efectos de fugas de sustancias peligrosas, explosiones industriales y otros fenómenos derivados de la actividad humana potencialmente catastróficos.
Volcánicos	Se basa en el impacto de las alertas y del peligro que representa los volcanes, a través de un análisis e interpretación permanentes del sistema de monitoreo.

Fuente: Elaboración del autor a partir de publicaciones de la CENAPRED. www.cenapred.unam.mx.

Así, el enfoque del manejo integral de riesgos reconoce que la generación de riesgos proviene de múltiples factores, tales como las decisiones políticas, el ordenamiento del territorio, la cultura de las comunidades, entre otros. Esto explica que la presencia latente de un tipo de factor de riesgo, ya sea natural o antropogénico, no excluye la amenaza de otros tipos de desastres. Por el contrario, los tipos de riesgos y desastres pueden ocurrir simultáneamente, y esto genera escenarios de riesgo complejos que hacen necesario integrar su manejo.

En este contexto, los posibles efectos del cambio climático podrían agudizar y potenciar los factores de riesgos naturales y sociales, lo cual hace imperativo un nuevo enfoque de los riesgos asociados a la seguridad nacional. Se debe tomar en cuenta la posible ocurrencia simultánea o concatenada de fenómenos naturales y antrópicos, lo cual pondría a prueba las medidas diseñadas para la prevención, la mitigación y la atención de la emergencia.

Los fenómenos hidrometeorológicos agravados por el calentamiento global, en conjunto con los fenómenos geológicos ponen en grave peligro la vida humana y las condiciones para el desarrollo sustentable. Por su parte, los llamados factores de riesgos antropogénicos o antrópicos han sido causados por el hombre debido a los procesos de industrialización y modernización, o provocados deliberadamente por causas delincuenciales. Entre los primeros, sobresalen el envejecimiento de la infraestructura urbano-industrial; el incremento del manejo de materiales y transportación de sustancias y residuos peligrosos en ciudades y carreteras; la fuga de sustancias tóxicas y explosivas; el crecimiento urbano desordenado y los asentamientos irregulares en reservas ecológicas, en orillas de lagunas, riberas y barrancas; y la contaminación del agua y la deforestación. Entre los segundos, se encuentran típicamente el terrorismo, la delincuencia, los accidentes tecnológicos, y el comercio ilegal de estupefacientes y armas, entre otros.

1.5 Cronología de fenómenos

En México, los estragos del calentamiento global y el desequilibrio ambiental han sido evidentes desde hace varias décadas. Los diez peores desastres naturales comienzan a registrarse con eventos sísmicos y climáticos como se muestra en el cuadro 1.6.

Cuadro 1.6 Los 10 eventos catastróficos más costosos en México

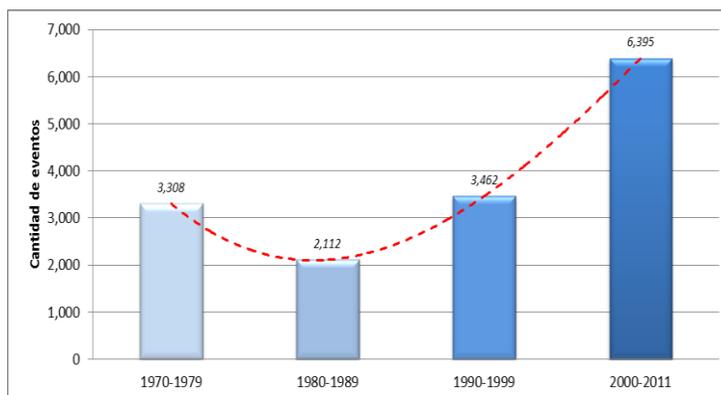
Nombre del evento	Año	Monto de pérdida estimada (millones de pesos)
Huracán Wilma	2005	1,752
Inundaciones en Tabasco	2007	700
Huracán Gilberto	1997	567
Terremoto DF	1985	473
Huracán Emily	2005	302
Huracán Stan	2005	228
Huracán Kenna	2002	176
Huracán Juliette	2001	90
Huracán Paulina	1997	62

Fuente: Elaboración del autor a partir de un listado de la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros.

Se observa que los eventos catastróficos presentan un crecimiento significativo desde hace casi 20 años. La razón recae de manera directa en el cambio climático que cada vez está cobrando con más vidas en cada uno de los estados de la República Mexicana; y no solamente de vidas, sino también ha cambiado la forma de concebir a las estaciones del año, debido a que llueve cuando no tiene que llover ó hace frío en temporadas que no. En el cuadro 1.7 se muestran los eventos que han tenido mayor frecuencia, enfatizando el año de ocurrencia.

Cuadro 1.7 Los 6 eventos con mayor frecuencia en México, desde 1970

Evento	Año	Frecuencia por año
Inundaciones	2008	793
Sequía	1970	323
Lluvias	2007	191
Incendio forestal	1999	174
Tormenta	2009	98
Sismo	1999	64



Fuente: Elaboración del autor a partir de la página www.desinventar.net.

Como se aprecia, el número de inundaciones presentadas en México en 2008 fue el más representativo de todos los eventos catastróficos; 793 veces provocaron que este tipo de evento ocupe el primer lugar muy por encima de las sequías, la cual tiene menos de la mitad de repeticiones que las inundaciones. Asimismo, se presenta un gráfico con las frecuencias de los eventos catastróficos desde 1970 hasta 2011 agrupados por décadas.

1.5.1 Sismos, temblores o terremotos

El terremoto es la manifestación superficial de la liberación de energía interna del planeta. México es uno de los países del mundo con mayor actividad telúrica. Según datos estadísticos, se registran más de 90 sismos por año con magnitud superior a cuatro grados en la escala de Richter⁸, lo que equivale a un 60% de todos los movimientos telúricos que se registran en el mundo.

En el momento cuando una placa tectónica se desplaza sobre o debajo de otra, pero por alguna razón este movimiento es dificultado, se acumula una energía de tensión que en algún momento se liberará haciendo colisionar y romper las placas entre sí originando un sismo. Este fenómeno consiste en la liberación repentina, en forma de ondas que se propagan en todas direcciones, de energía acumulada en la corteza terrestre.

La magnitud de un sismo se corresponde con parámetros de la energía liberada en una escala internacionalmente conocida como la Richter⁹; en tanto que la intensidad de los sismos, está determinada por los efectos que causa en las estructuras. El SSN ha identificado que interactúan cinco importantes placas tectónicas en México: Cocos, Pacífico, Norteamérica, Caribe y Rivera, las cuales se esquematizan de forma precisa en la Figura 1.1.

Figura 1.1 Placas tectónicas en México



Fuente: Elaboración propia a partir de www.ssn.unam.mx.

⁸ Crónicas de Desastres N°3, Terremoto de 1985, Organización Panamericana de la Salud.

⁹ La escala de Richter fue inventada en 1935 por el sismólogo Charles F. Richter y mide la magnitud de los terremotos. Además, considera que la magnitud de los sismos más pequeños es cercana a cero y la correspondiente a los sismos más grandes es de 8.9

Al occidente del país la placa de Cocos se desplaza por debajo de la de Norteamérica y hacia el norte, se presenta un movimiento cortante entre la placa del Pacífico y la de Norteamérica, en la falla denominada de San Andrés. Esta franja de sismicidad, se integra a otras que circundan el océano pacífico, en la zona sísmica denominada "Anillo de Fuego del Pacífico", la cual comprende la Patagonia y Chile al sur del continente, sigue en Centroamérica, la parte occidental de México, Estados Unidos, Canadá, Alaska, luego atraviesa las islas Aleutianas, continúa por la Península de Kamthctka, las islas de Japón y Filipinas, y termina en Nueva Zelanda¹⁰. El SSN representa de forma más específica los epicentros de sismos superiores a 6.5 en escala Richter.

Figura 1.2 Epicentros de sismos superiores a 6.5 grados Richter



Fuente: Elaboración del autor a partir www.ssn.unam.mx

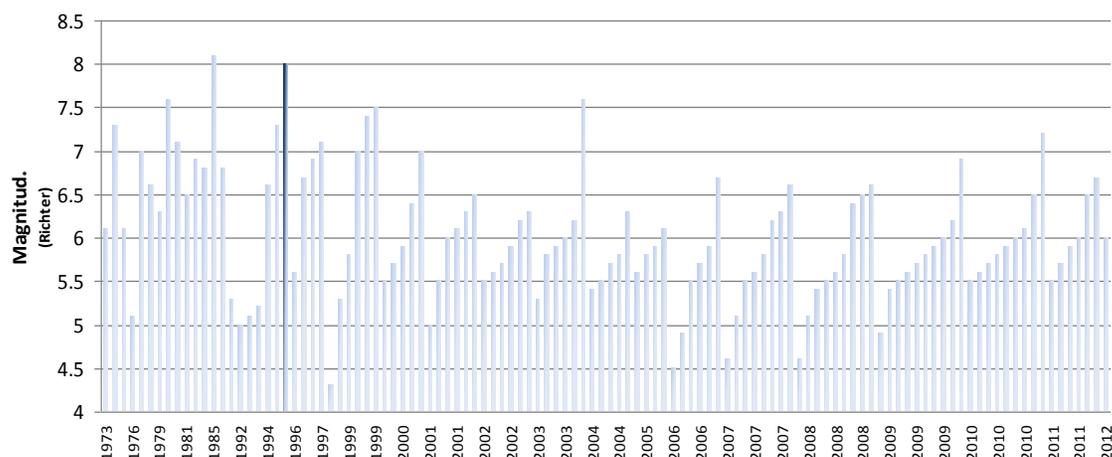
Se resalta que los epicentros que se ubican en la costa del Pacífico, a lo largo de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas son los que provocan la mayor parte de los terremotos de gran magnitud (mayores de 7, por ejemplo) y ocasionan grandes daños económicos, sociales y estructurales, numerosas pérdidas de vidas humanas y desequilibrio social. No obstante, también han ocurrido grandes sismos en el norte y centro de Oaxaca y Chiapas, centro y el sur de Veracruz y Puebla, Estado de México y la península de Baja California, sustancialmente en la zona fronteriza con los Estados Unidos. En los estados de Durango, Sinaloa, Sonora y Zacatecas, la sismicidad es más pequeña; a fines del siglo XIX, en este último estado ocurrió un sismo de magnitud 7.3. En los estados restantes no se han originado movimientos sísmicos de importancia, aunque en los estados de Guanajuato, Querétaro, Nayarit, Hidalgo, Tlaxcala y Tabasco llegan a ser afectados por los grandes sismos que se originan en otras regiones.

En los últimos 450 años de historia mexicana, se han registrado aproximadamente 3 mil temblores de gran intensidad¹¹. En este siglo se han presentado, inevitablemente, sismos de elevada intensidad en cada una de las décadas que han causado daños significativos. En la siguiente Figura, se muestra las magnitudes de los sismos en México.

¹⁰ Sismos, Fascículo 2, CENAPRED, Secretaría de Gobernación, México, 1997

¹¹ *Mexican Earthquakes During 450 Years of History*, Virginia Garcia Acosta, CIESAS

Figura 1.3 Distribución de magnitudes de sismos en México, desde 1973



Fuente: Elaboración del autor a partir de datos de la página <http://www2.ssn.unam.mx/website/jsp/fuertes.jsp> y <http://www.desinventar.net/DesInventar/report.jsp>.

En el cuadro 1.8 se muestran los 15 sismos más representativos de estos últimos 12 años¹².

Cuadro 1.8 Los 15 sismos con mayor magnitud en México, 2000-2012

Fecha	Hora	(Latitud Longitud)	Magnitud	Zona
21/01/2003	20:06:31	(18.22,-104.6)	7.6	Costa Colima
04/04/2010	17:40:41	(32.54,-115.36)	7.2	Sureste de Mexicali
09/08/2000	06:41:46	(17.94,-102.71)	7	Costa de Guerrero
03/08/2009	13:00:02	(28.48,-112.24)	6.9	Sonora
07/04/2011	08:11:22	(17.2,-94.34)	6.7	Suroeste de Veracruz
16/10/2008	14:41:22	(13.87,-92.5)	6.6	Suroeste de Chiapas
10/12/2011	19:47:25	(17.84,-99.98)	6.5	Noroeste de Guerrero
23/09/2008	21:33:06	(17.16,-105.16)	6.4	Suroeste de Colima
01/09/2007	14:14:24	(24.33,-109.53)	6.3	Este de Baja California
24/09/2009	02:16:20	(17.72,-107.43)	6.2	Suroeste de Jalisco
23/08/2010	21:11:55	(18.44,-107.23)	6.1	Suroeste de Jalisco
21/01/2012	12:47:15	(14.74,-93.24)	6	Suroeste de Chiapas
26/07/2011	12:44:18	(25.08,-109.6)	5.9	Suroeste de Sinaloa
20/10/2010	01:58:16	(24.74,-109.44)	5.8	Noroeste de Baja California
13/08/2011	02:33:09	(14.58,-94.88)	5.7	Sur de Oaxaca

Fuente: Elaboración del autor a partir de datos de la página <http://www2.ssn.unam.mx/website/jsp/fuertes.jsp>.

¹² Son representativos por la magnitud que presentan, además, se colocó solo un sismo de la misma magnitud con el fin de ver 15 magnitudes diferentes.

1.5.2 Tsunamis, huracanes, inundaciones y desbordamientos

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 y que pueden arribar a las costas con gran altura y provocar efectos destructivos: pérdida de vidas y daños materiales¹³. Se infiere de manera directa que la gran mayoría de los tsunamis se originan por sismos; además, ocurren en el contorno costero del Océano Pacífico.

Para México un riesgo aún mayor son los tsunamis generados por sismos en la fosa mesoamericana¹⁴. En el transcurso del siglo XX, una separación vertical de la corteza terrestre en el fondo del océano (ocasionada por un sismo), ha sido el origen de aproximadamente el 94% de los 450 tsunamis ocurridos en el Océano Pacífico.

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, como se muestra en el cuadro 1.9.

Cuadro 1.9 Clasificación de tsunamis

Tipo	Descripción
Locales	El lugar de arribo a la costa está muy cercano o dentro de la zona de generación del maremoto; por tiempo de desplazamiento: a menos de una hora. Ejemplo: el que se generó por un sismo en la Fosa Mesoamericana frente a Michoacán el 19 de septiembre de 198
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
Lejanos	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 196

Fuente: Elaboración del autor a partir de publicaciones de la CENAPRED www.cenapred.unam.mx.

Para entrar en materia de los ciclones tropicales, es necesaria la comprensión de cierta terminología indispensable proporcionada por la CENAPRED que a continuación se describe: 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 sur¹⁵. En específico, el ciclón tropical se origina en las regiones tropicales del planeta y son conocidos por varios nombres en algunas regiones, como se muestran en el cuadro 1.10.

¹³ Tsunamis, Serie Fascículo, CENAPRED, Secretaría de Gobernación, México, 1995

¹⁴ La Fosa Mesoamericana está en la zona de hundimiento de la Placa de Cocos y de la Placa de Rivera bajo la Placa de Norteamérica, adyacente al litoral suroccidental.

¹⁵ Ciclones tropicales, Serie Fascículo, CENAPRED, Secretaría de Gobernación, México, 2007

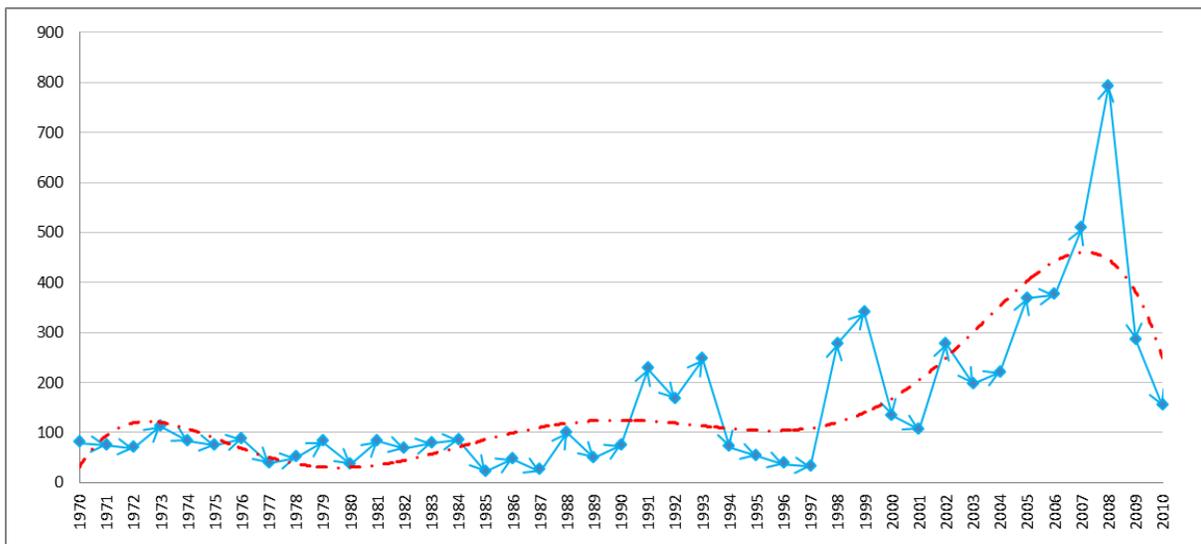
Cuadro 1.10 Nomenclatura de los ciclones tropicales

Nombre del ciclón	Región	
Huracanes	Océano Atlántico	Golfo de México
	Mar Caribe	Océano Pacífico (noreste y sur)
	Australia (este)	Samoa
Ciclones	Arabia	Bahía de Bengala
	Océano Índico	Mauricio (este)
	Madagascar	
Tifones	China	Costa de Japón

Fuente: Elaboración del autor a partir del fascículo ciclones tropicales de la CENAPRED.

Por otro lado, las inundaciones son las catástrofes naturales más frecuentes, originadas generalmente por lluvias torrenciales o por deshielos. La definición oficial de inundación es: aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce. En este caso, *nivel normal* es aquella elevación de la superficie del agua que no causa daños, es decir, inundación es una elevación mayor a la habitual en el cauce, por lo que puede generar pérdidas [OMM/UNESCO, 1974]. Éstas provocan varias consecuencias; perturban la economía de la región, sobre todo si es agrícola porque, al retirarse, el agua arrastra la capa fértil del suelo. Además, contaminan los suelos y cuando las lluvias son torrenciales y caen en áreas con pendientes pronunciadas, generan aluviones de barro que arrasan lo que encuentran a su paso. Ahora, para que se tenga una mayor comprensión del por qué las inundaciones también son otro evento catastrófico, se muestra la frecuencia de esta catástrofe por año en la Figura 1.4.

Figura 1.4 Frecuencia de inundaciones en México, 1970-2010



Fuente: Elaboración del autor a partir de datos de la página <http://www.desinventar.net/DesInventar/report.jsp>

El gráfico anterior muestra un comportamiento estrictamente creciente en los últimos 20 años afectando de manera muy significativa los estados de la República Mexicana. Finalmente, se muestra en el cuadro 1.11, los estados más afectados de México.

Cuadro 1.11 Estadísticas de los 15 estados más afectados por inundaciones

Estado de la República	Muertos	Viviendas Destruídas	Viviendas Afectadas	Damnificados	Afectados	Evacuados
Veracruz	260	50,500	149,150	1,779,690	730,000	201,791
Nayarit	-	-	3,000	15,000	1,500,000	-
Tabasco	12	3,411	62,313	282,520	24,000	867,928
Chiapas	207	24,000	77,500	250,000	19,277	1,200
San Luis Potosí	4	150	-	-	120,000	-
Oaxaca	12	500	35,500	29,658	53,000	2,000
Campeche	3	-	-	50,000	3,000	-
Yucatán	-	-	1,300	41,600	10,000	-
Estado de México	8	92	6,250	32,908	-	-
Guerrero	-	-	2,500	35,000	-	120
Chihuahua	13	-	-	23,000	10,000	-
Durango	-	-	4,000	20,000	-	-
Coahuila	-	218	450	3,800	-	1,205
Guanajuato	-	-	625	90	2,400	100
Michoacán	-	-	-	-	2,260	520

Fuente: Elaboración del autor a partir de datos de la página <http://www.desinventar.net/Desinventar/report.jsp>

1.5.3 Incendios y sequías

México es poseedor de gran riqueza biológica en sus bosques tropicales, templados y de climas semidesérticos; ocupa el cuarto lugar del mundo en importancia por diversidad y porcentaje de especies endémicas. Además, es protegida ante uno de sus enemigos más frecuentes: los incendios forestales¹⁶. Actualmente, el cambio de uso de suelo en bosques tropicales y las grandes alteraciones en el clima, son los causantes de incendios forestales. En general, se conocen tres tipos de incendios, como se muestran en el cuadro 1.12.

Cuadro 1.12 Tipos de incendios forestales

Tipo de incendio	Características
Incendio de copa, de corona o aéreo.	Afecta gravemente a los ecosistemas, pues destruye a toda la vegetación y en grados diversos daña a la fauna silvestre. Incendio superficial.
Incendio subterráneo.	Se propaga bajo la superficie del terreno; afecta las raíces y la materia orgánica acumulada en grandes afloramientos de roca. Se caracteriza por no generar llamas y por poco humo.
Incendio superficial.	Daña principalmente pastizales y vegetación herbácea que se encuentra entre la superficie terrestre y hasta 1.5 metros de altura. En México es el más frecuente (poco más del 90%).

Fuente: Elaboración del autor a partir del fascículo incendios forestales de la CENAPRED.

¹⁶ Incendios forestales, Serie Fascículo, CENAPRED, Secretaría de Gobernación, México, 2008

Los incendios forestales reflejan una disminución en la frecuencia en la primera década del presente siglo; sin embargo, los incendios cada vez son mayores y, además, en algunos casos son altamente destructivos. En el cuadro 1.13 se muestra la frecuencia de los incendios desde la década de los 70's.

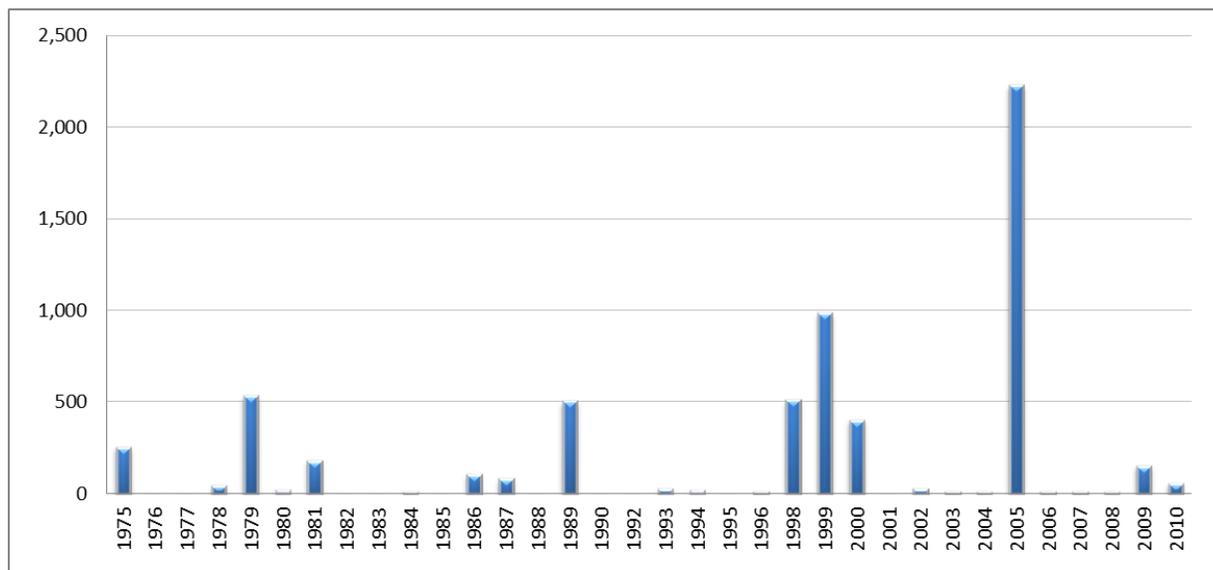
Cuadro 1.13 Frecuencia de incendios forestales, desde 1970

Décadas	Frecuencia	Superficie Afectada (ha)
70's	51,292	1,576
80's	67,807	2,019
90's	77,677	1,536
2000-2010	62,011	1,642
Total general	258,787	6,773

Fuente: Elaboración del autor a partir de datos de la página <http://www.desinventar.net/DesInventar/report.jsp>

La severidad de la sequía radica en que es variable en el espacio ya que puede abarcar grandes extensiones de territorio, además de durar meses o años, por lo que sus efectos pueden ser catastróficos en comunidades que no se encuentran suficientemente preparados para afrontarlas. Las frecuencias de las sequías que se han presentado en México se muestran en la Figura 1.5.

Figura 1.5 Frecuencia de sequías en México



Fuente: Elaboración del autor a partir de datos de la página <http://www.desinventar.net/DesInventar/report.jsp>

1.6 Causas de eventos catastróficos

La variabilidad del clima y su principal detonador -el cambio climático- provocan de manera directa que los fenómenos naturales, se desvíen y provoquen de manera directa, alteraciones en el comportamiento de éstos mismos, convirtiéndose en sí, en eventos realmente catastróficos. En esta sección, se presentan las principales causas de los eventos catastróficos.

1.6.1 Cambio climático

Entrando en materia, especialistas internacionales advirtieron que México es vulnerable ante efectos del cambio climático y, para 2050, el país se encontrará en un aumento de dos grados *Celsius* en su temperatura promedio, lo que originará sequías [El Universal, 2009].

El cambio climático es el responsable de la subida de las temperaturas, así como un aumento en la sequedad del suelo. Provoca que los periodos de escasez de agua sean más frecuentes, lo que ocasiona una mayor deshidratación de la vegetación y, por tanto, un aumento de su inflamabilidad. Existen evidencias de que el cambio climático empieza ya a modificar la fenología y la distribución de los ecosistemas forestales. Durante los últimos 400 mil años, el clima de la Tierra ha sido inestable, con temperaturas oscilantes. En el siglo XX, el incremento ha sido de entre 4 y 8° C, siendo las últimas dos décadas las más calientes.

Las 10 consecuencias directas del cambio climático, son:

- i Crecimiento del nivel del agua por la fusión de porciones de hielo polar. Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) el nivel del mar en el Caribe se aumentará para el año 2060 en 40 cm, esto provocaría que las aguas subterráneas utilizadas para el abastecimiento sean invadidas por el agua salada del mar, ocasionando problemas de disponibilidad de agua dulce para consumo humano, actividades productivas y de turismo.
- ii Aumento de las enfermedades respiratorias, cardiovasculares e infecciosas causadas por mosquitos y plagas tropicales, además de la postración y la deshidratación debida al calor.
- iii Las altas temperaturas generarán un aumento de la demanda del agua potable pero reducirá los niveles de los embalses, causando desabastecimiento.
- iv Escasez de alimentos ante las dificultades de cultivo por la afectación de los suelos y las altas temperaturas.
- v Extinción de gran cantidad de especies animales a consecuencia de cambios en los ecosistemas. Según el IDEAM, el incremento de la temperatura del mar afectaría notablemente a los corales.
- vi Aumento de la intensidad y frecuencia de las lluvias, huracanes y tornados, ante un ascenso en los índices de nubosidad por el incremento de la evaporación del agua.
- vii Disminución del nivel de agua de ríos y lagos debido a la evaporación causada por el aumento de la temperatura.
- viii Éxodo de ecosistemas: la región tropical se extenderá hacia latitudes más altas, y las regiones de bosques y pinos se desplazarán hacia regiones que hoy forman parte de la tundra y la taiga. Por

su parte, los ecosistemas costeros tendrán cambios profundos, ya que el alza del mar provocará la inundación de las costas.

- ix Los suelos se tornarán casi desérticos, perdiendo gran parte de sus nutrientes.
- x El aumento de las temperaturas permitirá la reproducción de ciertos insectos que le causarán enfermedades a las plantas y afectarán los cultivos.

1.6.2 Sobreexplotación de recursos y contaminación.

La organización de defensa del mar, Oceana, ha declarado que la región centroamericana del Pacífico y del Atlántico sufre problemas ecológicos "graves", como la sobreexplotación de recursos y la contaminación. Los expertos que han visitado la zona aseguran que algunas especies de meros, roncadoreos, pargos, jureles, langostas o caracolas gigantes han sido fuertemente sobreexplotadas.

En la misma línea han denunciado la sobreexplotación pesquera, que provoca una sustancial reducción de las especies herbívoras, lo cual ha generado la proliferación de algas en algunos arrecifes, alterando el dinamismo ecológico. Por otro lado, la expedición ha mencionado otros problemas, como la deforestación, el uso de artes de arrastre y la contaminación, que han incrementado la turbidez en el agua, con impacto en los ecosistemas.

Ahora, de manera más específica, la contaminación es un cambio perjudicial en las características físicas, químicas o biológicas del aire, la tierra o el agua, que puede afectar nocivamente la vida humana o la de especies beneficiosas, los procesos industriales, las condiciones de vida del ser humano y puede malgastar y deteriorar los recursos naturales renovables.

Los elementos de contaminación son los residuos de las actividades realizadas por el ser humano. La contaminación aumenta, no sólo porque a medida que la gente se multiplica y el espacio disponible para cada persona se hace más pequeño, sino también porque las demandas por persona crecen continuamente, de modo que aumenta con cada año lo que cada una de ellas desecha. A medida que la gente se va concentrando en pueblos y ciudades cada vez más densamente pobladas.

Clasificar la contaminación puede resultar tan difícil como clasificar los ecosistemas terrestres y acuáticos o cualquier tipo de fenómeno natural. Los métodos de clasificación más empleados son los realizados según el medio (aire, agua y suelo) y según el elemento contaminante (plomo, bióxido de carbono y desechos sólidos).

En las grandes ciudades de México, la contaminación del aire es consecuencia de los escapes de gases de los motores de explosión, de los aparatos domésticos de la calefacción, de las industrias que es liberado en la atmósfera, ya sea como gases, vapores o partículas sólidas capaces de mantenerse en suspensión, con valores superiores a los normales. Cuando las concentraciones de gases y sólidos superan las concentraciones admitidas perjudican la vida y la salud, tanto del ser humano como de animales y plantas.

Entonces, se concluye que la contaminación atmosférica proviene fundamentalmente de la contaminación industrial por combustión, y las principales causas son la generación de electricidad y el automóvil. También hay otras sustancias tóxicas que contaminan la atmósfera como el plomo y el mercurio. Es importante que los habitantes de las grandes ciudades tomen conciencia de que mantener la atmósfera con concentraciones normales de gases tóxicos es una necesidad primaria.

1.6.3 Sobrepoblación

El problema de la sobrepoblación es un tema que sobrepasa las interrelaciones humanas, las diferencias sociales y económicas, las posturas religiosas, ideológicas y políticas; va más allá de la educación, el arte y toda manifestación cultural del ser humano. Este problema es simple: la sobrepoblación destruye el mundo, y los seres humanos, directamente, perecen con él; y esta situación ha sido tratado a lo largo de la historia.¹⁷

Actualmente en México, se observa que son pocos los que tratan el tema de la sobrepoblación como el problema que realmente representa; sin embargo, existe y deben tomarse medidas cada vez más rigurosas; si no se toman estas medidas, radicales y fuertes, mediante leyes y decretos apropiados para frenar el problema de la sobrepoblación, esta población en México se verá con un gran incremento en el curso de los próximos 50 años. En el cuadro 1.14, se muestran los estados con mayor población de todo el país, con periodicidad de 5 años desde 1990.

Cuadro 1.14 Los 10 estados con mayor población desde 1990

Entidad federativa	1990	1995	2000	2005	2010
México	9,815,795	11,707,964	13,096,686	14,007,495	15,175,862
Distrito Federal	8,235,744	8,489,007	8,605,239	8,720,916	8,851,080
Veracruz	6,228,239	6,737,324	6,908,975	7,110,214	7,643,194
Jalisco	5,302,689	5,991,176	6,322,002	6,752,113	7,350,682
Puebla	4,126,101	4,624,365	5,076,686	5,383,133	5,779,829
Guanajuato	3,982,593	4,406,568	4,663,032	4,893,812	5,486,372
Chiapas	3,210,496	3,584,786	3,920,892	4,293,459	4,796,580
Nuevo León	3,098,736	3,550,114	3,834,141	4,199,292	4,653,458
Michoacán	3,548,199	3,870,604	3,985,667	3,966,073	4,351,037
Oaxaca	3,019,560	3,228,895	3,438,765	3,506,821	3,801,962

Fuente: Elaboración del autor a partir de la página <http://www.inegi.org.mx>.

¹⁷ En 1798, Thomas Robert Malthus, fue uno de los primeros en abordar este tema y junto al problema planteó la solución. Sostenía que la capacidad de crecimiento de la población es infinitamente mayor que la capacidad de la tierra para producir alimentos. En su publicación, hizo famosa la frase: "La población crece de forma geométrica mientras que los alimentos crecen de manera aritmética". Es decir si somos 10 personas, la próxima generación seremos 20, luego 40, 80, 160, y así sucesivamente. Por el contrario, la producción de alimentos aumenta aritméticamente, es decir si tenemos 10, la próxima generación tendrá 20, luego 30, 40, 50, y así sucesivamente. Malthus sostenía, que se debe poner freno al impulso natural de procrear, de tres formas: preventiva, propia de la conciencia moral de los individuos, y finalmente de manera represiva.

1.7 Efectos

Las consecuencias de los eventos catastróficos no deben mirarse únicamente desde el punto de vista de las vidas que se pierden, sino también desde el punto de vista económico, pues constituyen un obstáculo para el desarrollo económico y social de la región, especialmente en los países en desarrollo, como es el caso de México. En ellos, un desastre puede ocasionar una reducción del producto nacional bruto por varios años, por ejemplo, una inundación arrastra la capa fértil del suelo y tarda años en recuperarse. Se ha calculado que las pérdidas del producto nacional bruto debidas a los desastres pueden ser, en proporción, 20 veces mayores en los países en desarrollo que en las naciones más adelantadas.

Los desastres pueden tener consecuencias tardías, es decir, que sólo se pueden evaluar a lo largo de varios años. Una sequía o una inundación pueden afectar la economía de la región o de un país de manera tal que repercuta en la calidad de vida o la salud de su población por varios años. Otras consecuencias son más difíciles de percibir por qué no se traducen en número y no son capturadas por las estadísticas. A la hora de caracterizar una catástrofe natural, lo primero que suele hacerse es resumirla a través de una serie de estadísticas que muestran el número de víctimas y la cuantía y tipología de los daños materiales producidos.

Los efectos de los desastres naturales pueden ser reducidos en gran parte si se toman precauciones para reducir la vulnerabilidad. Los países industrializados han logrado progresos en la reducción del impacto de huracanes, inundaciones, terremotos, erupciones volcánicas y derrumbes.

1.7.1 Daños materiales

El riesgo de morir a causa de un huracán o de una inundación es menor que hace veinte años, pero los daños materiales provocados por los desastres naturales van en aumento y cada vez pesan más sobre las economías, sobre todo de los países más pobres.

La Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros (AMIS) informó que los daños económicos, como consecuencia de las distintas catástrofes naturales, al menos en 2011, alcanzaron los 380 mil millones de dólares a nivel mundial. En un comunicado, el organismo precisó que esa cifra fue mayor a la reportada en 2010, cuando los daños económicos ascendieron a 152 mil millones de dólares; el año pasado se registraron un total de 820 catástrofes, los cuales dejaron 27 mil víctimas mortales.

La AMIS informó, con cálculos de la empresa alemana Munich Re, que el monto asegurado por los daños materiales ocasionados en 2011 es de 105 mil millones de dólares, lo cual representa un récord en este rubro, debido a que supera los 101 mil millones de dólares que, en 2005, provocó la devastación del huracán Katrina en Nueva Orleans, y destacó que los terremotos representaron casi la mitad del total de las pérdidas aseguradas. Los eventos catastróficos que más han afectado a viviendas se muestran en el cuadro 1.15.

Cuadro 1.15 Número de viviendas afectadas por catástrofes desde 1970

Evento catastrófico	Suma de Viviendas Afectadas	Suma de Viviendas Destruidas
Inundación	1,321,845	166,898
Lluvias	980,040	122,452
Terremoto-Sismo	226,776	88,593
Tormenta	97,370	18,632
Incendio	3,353	9,447
Incendio forestal	538	986

Fuente: Elaboración del autor a partir de datos de la página <http://www.desinventar.net/DesInventar/report.jsp>.

1.7.2 Daños consecuenciales

Los desastres son únicos en el sentido de que afectan a zonas con grados distintos de vulnerabilidad y en condiciones económicas, sanitarias y sociales peculiares; sin embargo, también existen similitudes entre ellos. La identificación de esos rasgos comunes puede usarse para mejorar la gestión de la asistencia en salud y el uso de los recursos. Deben considerarse los aspectos siguientes:

1. Existe una relación entre el tipo de desastre y sus efectos sobre la salud, especialmente en lo que se refiere al impacto inmediato en la producción de lesiones; por ejemplo, los terremotos provocan muchos traumatismos que requieren atención médica, mientras que las inundaciones y maremotos provocan relativamente pocos.
2. Ciertos efectos de los desastres suponen más bien un riesgo potencial que una amenaza inevitable para la salud. Así, los desplazamientos de la población y otros cambios del medio ambiente pueden incrementar el riesgo de transmisión de enfermedades; sin embargo, en general, las epidemias no se deben a desastres naturales.
3. Los riesgos sanitarios reales y potenciales posteriores a los desastres no se concretan al mismo tiempo; tienden a presentarse en momentos distintos y con una importancia variable dentro de la zona afectada. Así, las lesiones personales ocurren por lo general en el momento y el lugar del impacto y requieren atención médica inmediata, mientras que el riesgo de aumento de las enfermedades transmisibles evoluciona más lentamente y adquiere máxima intensidad cuando hay hacinamiento y deterioro de las condiciones de higiene.
4. Las necesidades de alimentos, ropa y refugio, y atención primaria de salud creadas por los desastres no suelen ser absolutas; incluso los desplazados suelen estar a salvo de algunas necesidades vitales. Además, los afectados suelen recuperarse con rapidez del estupor inicial y participan espontáneamente en la búsqueda, rescate y transporte de los heridos, y en otras actividades de socorro personal.
5. Las guerras y conflictos civiles generan un conjunto peculiar de problemas sanitarios y de obstáculos operativos. Estas situaciones no se contemplan con detenimiento en esta publicación.
6. Los eventos catastróficos no suelen provocar brotes masivos de enfermedades infecciosas, aunque en algunas circunstancias aumentan las posibilidades de transmisión.

1.7.3 Pérdida de vidas humanas

En cuanto a las pérdidas humanas, los recuentos de los daños arrojan cifras alarmantes de muertos, heridos y desaparecidos, no tan solo durante el desastre natural, sino también después de que éste ocurre debido a que los brotes de enfermedades incrementan y simultáneamente la comida y el agua, escasean. Entre más tiempo se tarde una comunidad o un país en recuperarse, más expuesto se ve a que esto ocurra, debido a que muchas familias se quedan sin empleo y por lo tanto sin comida. Además de que otras en ocasiones pierden todas sus posesiones materiales y los lugares en los que antes vivían, después de que ocurrió el desastre, ya no existen o están completamente destruidos y por último la inseguridad va en aumento y las provisiones donadas en decremento. Por ejemplo, sobre lo ocurrido recientemente en el Sureste del país, una de las cifras que se reportó días después de que el huracán Stan azotara a la zona fue de un millón 954 mil personas afectadas, entre los que se encontraban 15 muertos, miles de damnificados, y mil 233 refugios temporales.

En México, un caso muy particular fue el 19 de Septiembre de 1985 en el que un sismo sacude a la ciudad de México y afectó principalmente el centro histórico de la Ciudad de México donde cobró la mayor cantidad de víctimas. Al principio no se tenían datos oficiales porque los centros de información habían sido afectados también, y tardaron varias horas en retomar las transmisiones. Aún sin saber la cifra exacta de muertos, se estima que en promedio 10,000 personas murieron, y otras 5,000 se reportaron como desaparecidas. Padres de niños y jóvenes murieron en el sismo, personas que fueron rescatadas de entre los escombros, los bebés que nacieron ese día y pasaron hasta más de una semana sepultados entre toneladas de hierro retorcido.

Cabe mencionar que no sólo el continente Americano ha sufrido, el tsunami de Indonesia (26 de Diciembre del 2004), Sri Lanka, y Tailandia dejó un saldo de 27,000 muertos en Indonesia, 18,000 en Sri Lanka, 4,300 en la India, 1,400 en Tailandia, 100 en Somalia, 52 en las Islas Maldivas, 44 en Malasia, 30 en Myanmar, 10 en Tanzania, 3 en Las Seychelles, 2 en Bangla Desh y 1 en Kenya.

Finalmente, se comprendió qué es un evento catastrófico, hubo una comprensión de sus afectaciones y se mostró su comportamiento en la historia. Adicionándole detalles importantes: causas y efectos, pilares fundamentales de este capítulo que se abordó.

Capítulo 2. La teoría de valores extremos y la pérdida máxima probable.

2.1 Introducción

La Teoría de Valor Extremo (TVE) ayuda para la identificación y modelización de los máximos o mínimos de una variable aleatoria y la pérdida máxima probable brinda elementos para la comprensión de los efectos que provocan estos datos. El objetivo es desarrollar métodos para cuantificar eventos catastróficos y sus consecuencias de un modo estadísticamente óptimo.

La teoría de valores extremos es bastante reciente. Su teoría estadística toma forma en 1980s. Además, fue desarrollada por Frechet (1927), Fisher y Tippett (1928) y R von Mises (1936) y culminó en el trabajo de Gnedenko (1943).

Los métodos de análisis de valores extremos de una variable aleatoria que se usan en esta tesis se clasifican en dos categorías i) Enfoque de máximos y ii) Enfoques por umbral. El primero es el más comúnmente usado y se apoya de la distribución de valores extremos generalizada para ajustar una distribución a partir de los máximos o mínimos de un conjunto de datos muestrales independientes idénticamente distribuidos agrupados en bloques de similar tamaño, además, discrimina una gran cantidad de datos y está relacionada con la distribución generalizada de valor extremo. El segundo, auxilia para visualizar y detectar todas las excedencias que sobrepasen un determinado valor, está relacionado con la distribución generalizada de Pareto (DGP).

La pérdida máxima probable es la mayúscula consecuencia producida por un evento catastrófico específico en base al criterio del mejor escenario probable.

La importancia en considerar estos dos tópicos es debido a que son modelos matemáticamente maduros y estrictamente aplicables a cualquier siniestro, o en este estudio, un suceso dramático.

2.2 Teoría de Valor Extremo

La Teoría de Valor Extremo está dedicada estadísticamente a desarrollar modelos y técnicas para estimar el comportamiento de eventos inusuales. Estos eventos son los que pertenecen a la cola de la distribución y son los que están alejados del grueso de la distribución.

Sin embargo, no hay una definición formal de eventos extremos, en muchos casos, se pueden definir como aquellos eventos que exceden en frecuencia y/o severidad algún umbral, pero también se pueden definir como el máximo o mínimo de una variable sobre un cierto período.

Las mayores aplicaciones han sido en el campo ambiental, por ejemplo: niveles del mar, velocidades de viento y concentraciones de contaminantes; ya que niveles altos de estos eventos son peligrosos. Los modelos de valores extremos se han usado en aplicaciones a datos financieros, evaluación de daños, records deportivos y tráfico en internet.

Desde un punto de vista estadístico, el problema de la teoría de valores extremos es un problema de extrapolación. La idea básica que conduce a tal extrapolación, es encontrar un buen modelo paramétrico para la cola de los datos, que genere el proceso y que luego se pueda ajustar con las observaciones extremas. La extrapolación se obtiene entonces analizando el comportamiento del modelo más allá del rango de los datos observados.

La dificultad fundamental está en la necesidad de hacer inferencia sobre valores. El método usual está basado en un principio por Fisher y Tippett y luego con más rigor por Gnedenko, quien establece que hay solamente tres tipos de distribuciones y las denomina distribuciones límites de los máximos.

Esta teoría condujo a Gumbel a producir una larga serie de artículos que culminaron en un libro donde propone una metodología estadística para los valores extremos basada en el ajuste de las distribuciones de datos extremos que eran los máximos y mínimos de algún proceso aleatorio sobre intervalos de tiempo fijos. Además, llama la atención a ingenieros y estadísticos de las posibles aplicaciones de la teoría de valores extremos. Demuestra que la frecuencia de inundaciones se puede relacionar mediante el uso de la teoría del valor extremo (Gumbel, 1941).

Von Misses (1954) y Jenkisson (1955), cada uno por separado, desarrollaron una parametrización que unifica las tres distribuciones límites para valores extremos, llamada distribución generalizada de valor extremo (GEV) y depende de tres parámetros, mientras revisaban los estados meteorológicos.

Sin embargo, también en los últimos años, el énfasis de la metodología ha cambiado hacia métodos basados en los excedentes por arriba de un umbral, en lugar del máximo o mínimo anual. En este contexto, hay analogía con el teorema de los tres tipos de Gnedenko, pero se conduce a una distribución diferente conocida como la distribución generalizada de Pareto.

Los métodos de umbrales son más flexibles que los basados en el máximo anual porque toman todos los excedentes por arriba de un umbral, adecuadamente alto, y de esta manera se usan mucho más datos. Este tipo de problemas son difíciles de trabajar bajo la metodología del máximo anual.

La TVE es una herramienta altamente robusta en aspectos matemáticos y probabilísticos puesto que no solo genera modelos sino que también busca brindar una estimación precisa de las colas de distribución original a través de los valores extremos de un conjunto de datos. Esta teoría no predice el futuro sino que proporciona información sobre fenómenos.

2.2.1 Antecedentes

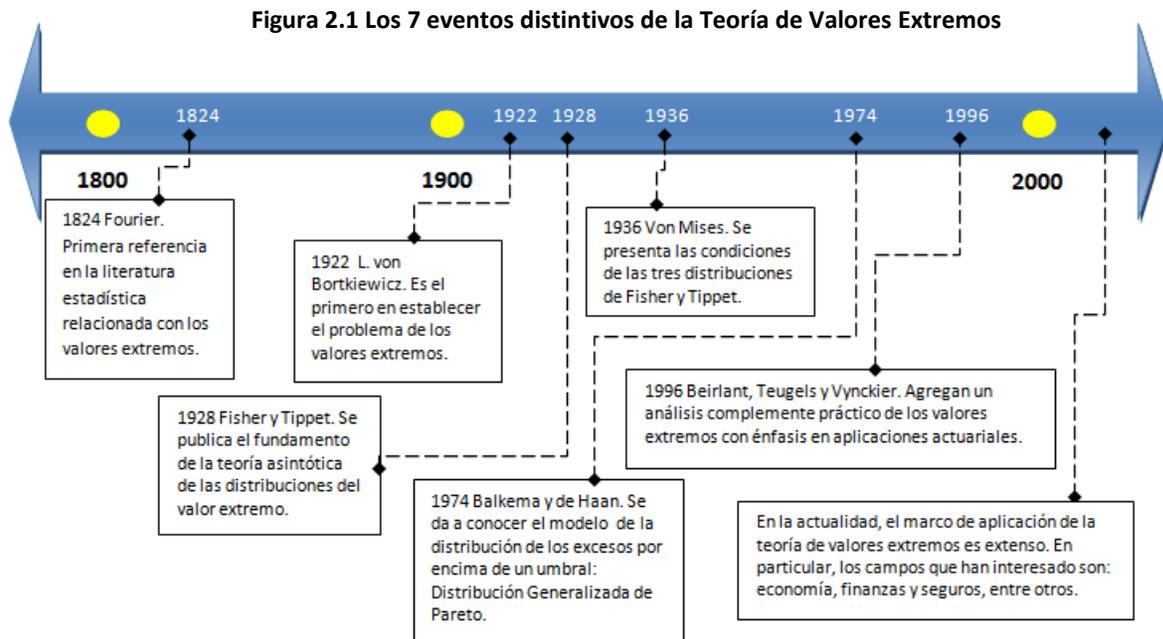
Los antecedentes de ésta teoría se presentan en el cuadro 2.1 y en la figura 2.1 se puntualizan los eventos más importantes mediante una línea de tiempo.

Cuadro 2.1 Historia de la TVE

Clasificación	Año	Personaje(s)	Aportación/Investigación
Historia Antigua	1824	Fourier	Primera referencia en la literatura estadística de los valores extremos
	1877	Helmert	Indica que la probabilidad de pasar un valor depende del tamaño de la muestra, provocando que la idea de Fourier se torne falsa completamente.
		Gumbel	Agrega que para muestras pequeñas, la regla de las tres desviaciones típicas es demasiado severa y para muestras grandes es demasiado débil.
	1922	L. von Bortkiewicz	Es el primero en establecer el problema de los valores extremos.
	1923	Dodd	Estudia los valores máximos de distribuciones distintas a la normal.
	1925	Tippet	Estudia la función de distribución acumulada de los estadísticos de mayor orden y determina las probabilidades para el mayor valor.
	1927	Frechet	Primer ensayo para obtener la distribución asintótica de los valores más altos en una clase de distribuciones individuales
Historia Moderna	1928	Fisher-Tippet	Publican el fundamento de la teoría de las distribuciones del valor extremo.
	1936	Von Mises	Se presenta las condiciones con las que las tres distribuciones límite de Fisher y Tippet eran válidas y algunas condiciones de convergencia.
	1943	Gnedenko	Se presenta la primera prueba rigurosa de la TVE, proporcionándose las condiciones necesarias y suficientes para la convergencia.
	1958	Gumbel	Se demuestra que para cualquier distribución inicial, continua y con inversa, se pueden encontrar los máximos o mínimos de una serie de datos.
Moderna	1943	Frenkel	Aborda los fenómenos meteorológicos.
	1974	Balkema y de Haan	Se da a conocer el modelo que concierne a la distribución de los excesos por encima de un umbral: Distribución Generalizada de Pareto.
	1992	Balakrishan y Nagaraja	Explicación compacta de la teoría asintótica de los valores extremos.
	1996	Beirlant, Teugels y Vynckier	Agregan análisis de los valores extremos en aplicaciones actuariales
	1996+		En la actualidad, el marco de aplicación de la teoría de valores extremos es extenso. En particular, los campos que están interesados son: economía, finanzas y seguros, entre otros.

Fuente: Elaboración del autor a partir DODD, E.L., The Greatest and the Least Variate under General Laws of Error, 1923; FRECHET, M., Sur la Loi de Probabilité de L'écart Maximum, 1927; FISHER, R.A.; TIPPETT, L.H.C., Limiting Forms of the Frequency Distribution of the Largest or Smallest Member of a Sample, 1928; MISES, R., von, La distribution de la plus grande de n valeurs, 1936; GNEDENKO, B.V., Sur la Distribution Limité du Terme Maximum D'une Série Aléatoire, 1943; GUMBEL, E.J., Statistics of Extremes, 1958 Columbia University Press, New York.

Se destacan Fisher, Tippet, Balkema y de Haan y Von Mises por su notoria contribución en el desarrollo de material para la teoría de valores extremos.



2.2.2 Planteamiento teórico

La TVE es ideal para indicar el tipo de distribución que teóricamente permite aproximar la cola de un evento catastrófico; asimismo, proporciona el mejor estimador basándose en la información histórica disponible. Esta teoría se basa en los Teoremas de Fisher-Tippet y de Pickands, Balkema de Haan.

El teorema de Fisher-Tippet, también llamado distribución del máximo, apunta que las únicas tres posibles distribuciones límite para máximos son las llamadas distribuciones de valores extremos, es decir, la función de distribución Fréchet, la Weibull y la Gumbel.

El teorema de Pickands, Balkema de Haan permite aproximar la función de distribución de excesos F_u por encima de un umbral alto u mediante una Distribución Pareto Generalizada (DPG); esto permite estimar la cola de la distribución para valores grandes de x .

Los métodos estadísticos para evaluar a los eventos catastróficos, necesitan ser muy precisos en la medición de las colas de las distribuciones y quien se encarga en pulir éstas evaluaciones es la TVE.

2.2.2.1 Distribución del Máximo. Teorema de Fisher-Tippet

Esta distribución surge a partir del desarrollo del teorema de Fisher-Tippet (ley del límite para el máximo, 1928), el cual estima la distribución del máximo. Según McNeil, A. (1997), el teorema desarrollado por Fisher y Tippet es la parte fundamental de la Teoría del Valor Extremo.

La TVE analiza la condición bajo la cual los extremos de una muestra aleatoria $\{X_i\}_{i=1}^n$ convergen hacia una distribución límite no degenerada cuando el tamaño de la muestra n tiende hacia el infinito.

Se dice que una sucesión $\{X_n\}$ converge en probabilidad a la variable aleatoria X si para $\forall \varepsilon > 0$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(|X_n - X| > \varepsilon) = 0$$

lo que equivale a que $\forall \varepsilon > 0 P(|X_n - X| > \varepsilon) \rightarrow 0$, cuando $n \rightarrow \infty$ la convergencia en probabilidad se denota por $X_n \xrightarrow{P} X$.

Sea una familia $\{X_i\}_{i=1}^n$ de variables aleatorias independientes idénticamente distribuidas¹⁸, con función de distribución:

$$F(x) = P(X_i \leq x) \quad \forall i, x$$

Las variables aleatorias han de ser forzosamente positivas y, por lo tanto, las funciones de distribución están truncadas en 0 por la izquierda.

Para el máximo se define como:

$$M_n = \text{máx.} \{ \{X_i\}_{i=1}^n \} = \text{máx.} \{ X_1, X_2, \dots, X_n \}$$

La función de distribución acumulada está dada por:

$$\begin{aligned} P \{ M_n \leq x \} &= P \{ \text{máx.} \{ X_1, X_2, \dots, X_n \} \leq x \} = P \{ X_1 \leq x, X_2 \leq x, \dots, X_n \leq x \} \\ &= \prod_{i=1}^n P \{ X_i \leq x \} = (F(x))^n = F(x)^n. \end{aligned}$$

Sin embargo, esto no es útil en la práctica. Lo que se recomienda es considerar dos hipótesis: aceptar que F es desconocida y estudiar la distribución de los extremos M_n cuando n es grande.

¹⁸ Las variables aleatorias idénticamente distribuidas serán conocidas a partir de este momento como v.a.i.i.d.

Para resolver el problema del desconocimiento de la función de distribución acumulada se pueden implementar dos soluciones. La primera es ajustar una distribución con los datos observados y así estimar aproximadamente el valor de F pero si hay algún error se hará muy grande ya que F está elevado a la n . La otra opción es aceptar que F es desconocida y tratar de obtener la distribución aproximada que puede tener $F^n(x)$ y que solo se puede lograr a partir de datos extremos con una teoría análoga al teorema central del límite.

Pero hay que tener en cuenta que se puede tener el siguiente caso: en el límite la distribución puede ser degenerada.

Una variable aleatoria X se dice que tiene una distribución degenerada en un punto h si la función de distribución es:

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x < h \\ 1, & x \geq h \end{cases}$$

Por ejemplo, para cualquier $x < x^*$ es el punto superior de F , es decir que x^* es el valor más pequeño de x tal que se cumple que $\lim_{n \rightarrow \infty} F^n(x) = 0$ por lo que la función de distribución de M_n degenera en un punto.

Cuando n tiende a infinito es claro que para cualquier valor fijo de x :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} F^n(x) = \begin{cases} 1, & F(x) = 1 \\ 0, & F(x) < 1 \end{cases}$$

Entonces:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P[M_n \leq x] = \lim_{n \rightarrow \infty} F^n(x) = 0$$

El cual es una función degenerada. Para evitar esta dificultad, se normaliza la variable M_n :

$$M_n^* = \frac{M_n - b_n}{a_n}$$

El máximo de la variable aleatoria puede ser estabilizado a través de las sucesiones $\{a_n\}$ y $\{b_n\}$ con $a_n > 0$ y $b_n \in \mathbb{R}$ que corresponden a los parámetros de escala y de localización tales que:

$$\begin{aligned} P\left(\frac{M_n - b_n}{a_n} \leq x\right) &= P(M_n \leq a_n x + b_n) = \\ &= F^n(a_n x + b_n) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} G(x) \Leftrightarrow \lim_{n \rightarrow \infty} F^n(a_n x + b_n) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} G(x) \end{aligned}$$

La correcta selección de $\{a_n\}$ y $\{b_n\}$ evita la degeneración de M_n . De esta manera, M_n^* converge en distribución a alguna de las familias: Gumbel, Frechet o Weibull.

Entonces, el teorema de Fisher y Tippet considera una familia de v.a.i.i.d. $\{X_i\}_{i=1}^n$, $M_n = \text{máx.}\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ y sucesiones de normalización $a_n > 0$ y $b_n \in \mathbb{R}$ tal que:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P \left\{ \frac{(M_n - b_n)}{a_n} \leq x \right\} = F^n(a_n x + b_n) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} G(x)$$

Donde G es una función de distribución no degenerada. Entonces, con apoyo Gnedenko se define que G pertenece solo a una de estas tres distribuciones límites de valores extremos y estas son las únicas posibles distribuciones para M_n^* sin importar que función de distribución F tenga la población:

$$\begin{aligned} \text{Frechet: } G^1(x) &= \begin{cases} e^{-\left(\frac{x-b}{a}\right)^{-\gamma}}, & x > b, \gamma > 0, a > 0 \\ 0, & x \leq b \end{cases} \\ \text{Weibull: } G^2(x) &= \begin{cases} e^{-\left(-\frac{x-b}{a}\right)^\gamma}, & b > x, \gamma > 0, a > 0 \\ 1, & x \geq 0 \end{cases} \\ \text{Gumbel: } G^3(x) &= \begin{cases} e^{-\left(e^{-\frac{x-b}{a}}\right)}, & -\infty < x < \infty \end{cases} \end{aligned}$$

Considérese la siguiente reparametrización: parámetro de forma $\xi = \frac{1}{\gamma}$, localización $\mu = b$ y parámetro de escala $\sigma = a$.

Entonces,

$$\begin{aligned} \text{Frechet: } G^1(x) &= \begin{cases} e^{-\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^{-\frac{1}{\xi}}}, & x > \mu, \xi > 0 \\ 0, & x \leq \mu \end{cases} \\ \text{Weibull: } G^2(x) &= \begin{cases} e^{-\left(-\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^{\frac{1}{\xi}}}, & x > \mu, \xi > 0 \\ 1, & x \geq \mu, \xi > 0 \end{cases} \\ \text{Gumbel: } G^3(x) &= \begin{cases} e^{-\left(e^{-\frac{x-\mu}{\sigma}}\right)}, & -\infty < x < \infty \end{cases} \end{aligned}$$

Von Misses (1954) y Jenkinson (1955), derivaron cada uno por su lado, la Distribución Generalizada de Valor Extremo (GVE) que unifica las tres distribuciones límites de valores extremos y está dada:

$$G(x) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) \right]^{-1/\xi} \right\}$$

Definida en el conjunto

$$\left\{ x: 1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) > 0 \right\}.$$

Porque de lo contrario, $G(x)$ toma el valor de 0 o 1, es decir, $G(x)$ sería degenerada. Los parámetros satisfacen ciertas condiciones: $-\infty < \mu < \infty, \sigma > 0, y -\infty < \xi < \infty$. El parámetro más importante es ξ porque determina el comportamiento de la cola de la distribución de los datos. Entonces si:

1. $\xi > 0$, la cola de la distribución tiene un comportamiento de tipo Frechet.
2. $\xi < 0$, la cola de la distribución tiene un comportamiento de tipo Weibull.
3. $\xi \rightarrow 0$, la cola de la distribución tiene un comportamiento de tipo Gumbel.

La unificación de las tres familias de distribuciones de valores extremos en una sola, implica una gran simplificación en las implementaciones estadísticas.

En la mayoría de las aplicaciones de esta teoría a procesos ambientales, las distribuciones de valores extremos son usadas para modelar la distribución aproximada del máximo anual sin hacer consideración alguna de cómo se obtuvieron las observaciones. Los procesos ambientales rara vez producen observaciones independientes e idénticamente distribuidas. Sin embargo, existe una extensa teoría de valores extremos para procesos no independientes e idénticamente distribuidos y es conocido que las distribuciones clásicas de valores extremos, también se cumplen en este contexto.

El cuadro 2.2 muestra las variables aleatorias que pertenecen a las distribuciones del valor extremo.

Cuadro 2.2 Tipos de distribuciones

Distribución inicial $F(x)$	Distribución límite para los máximos $G(x)$	Tipo de cola
Uniforme	Weibull	Colas suaves
Beta		
Exponencial	Gumbel	Colas medianas
Gamma		
Normal		
Log-normal		
Pareto	Frechet	Colas gruesas
Cauchy		
Burr		
Log-gamma		

Fuente: Elaboración del autor a partir Velasco, Luna Fernando. HERNÁNDEZ, González Sergio. "Teoría De Valores Extremos: Una Introducción", LINA E, 2007.

En general, el teorema de Fisher y Tippet, fue un gran empuje para el desarrollo de la distribución asintótica para modelar máximos.

2.2.3 Modelos de Umbral

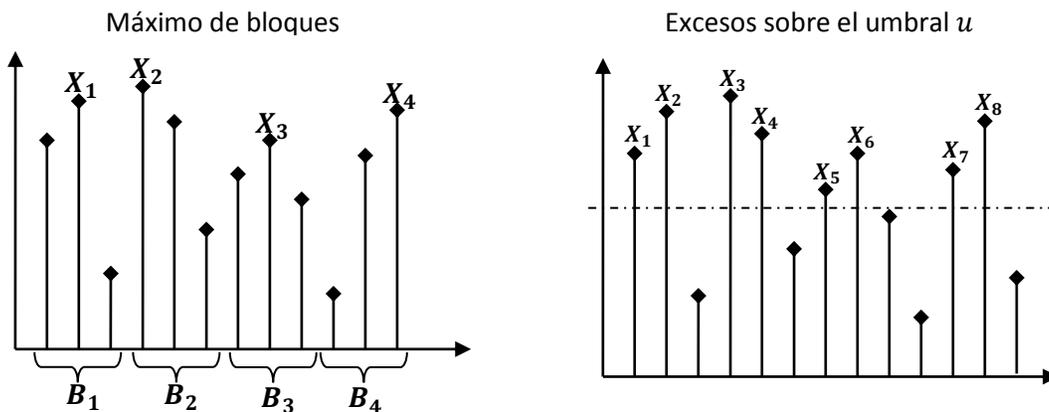
El primer método de valores sobre un umbral fue propuesto inicialmente en el área de Hidrología y luego formalizado por R.L. Smith en base a resultados obtenidos previamente por Pickands.

Los métodos de umbrales son pioneros en el análisis de valores extremos. Además, son más flexibles que los métodos basados en el máximo anual.

El porqué está en fundamentado en cuatro razones: primera, los métodos de umbrales consideran todos los excedentes por arriba de un determinado valor, el cual, estadísticamente hablando, es convenientemente alto. Segunda, éstos son fácilmente aplicables cuando se quiere estudiar la dependencia entre los niveles extremos de una y otra variable. Tercera, en ellos se concentran más datos extremos en lugar de solo tomar el máximo anual o el máximo del periodo. Finalmente, todas las observaciones que exceden un umbral específico pueden ser modelados con alguna distribución, que de nuevo es asintótica.

Se puntualiza la existencia de dos métodos para modelar datos extremos. Uno de ellos considera el máximo ó mínimo (según sea el caso) que la variable en interés toma en periodos sucesivos de la misma magnitud (años, meses, etcétera), éstos periodos deben ser claramente definidos. Este método se le denomina máximo de bloques. El otro método se concentra en los eventos que exceden un umbral dado sobre un lapso de tiempo considerable, es decir, los eventos extremos serán las observaciones que están por encima del valor definido.

Figura 2.1 Métodos para modelar valores extremos.



Fuente: Elaboración del autor.

2.2.3.1 Máximos de los bloques

Este tipo de método, tiene dos objetivos fundamentales. El primero, es elegir la longitud de los intervalos de la forma en la que se aprecien máximos por bloque. Además de ello, es la estimación de los parámetros característicos de las distribuciones que ajustan a los estos valores.

De la figura 2.1, el gráfico de máximo de bloques, muestra cuatro conjuntos de la misma magnitud (periodicidad), en donde en cada uno se hace notar el máximo; es decir, se toma la serie de datos del evento que se desea analizar y se gráfica con una periodicidad t , después se debe considerar una partición (con n elementos de longitud $\frac{t}{n}$ cada uno) adecuada con el objetivo de obtener la mayor información notable; posteriormente, se toma nota de los máximos que resaltan de la serie, esto con el fin de hacer un análisis descriptivo de cuál puede ser el comportamiento de los datos.

Modelar los máximos de cada bloque de datos no es práctico porque se requiere de una muestra de datos muy grande y de este conjunto se obtienen pocos datos los mismos que se pueden modelar.

Sin embargo, un método más eficiente es modelar los valores extremos que exceden un umbral.

2.2.3.2 Excesos sobre el umbral

El método de excesos sobre el umbral u también es conocido como P.O.T. (*Peaks over threshold method*) y permite estudiar cómo se distribuyen las observaciones una vez que éstas han superado una determinada cuantía, llamada prioridad o umbral y denotada por u .

Por ejemplo, este estudio es relevante desde el punto de vista de la solvencia del asegurador y de todas sus relaciones con el reaseguro, puesto que se analiza el comportamiento de la siniestralidad extrema una vez alcanzado un nivel elevado de coste.

Excesos sobre un umbral tiene relación directa con el exceso de pérdida o XL (*excess of loss*), donde, dada una prioridad u se debe pagar el exceso sobre la prioridad siempre y cuando el siniestro sea superior a u , es decir, se paga $X - u$, condicionado a que $X > u$.

El método P.O.T. se basa en las siguientes hipótesis:

- i. Los excesos por encima de la prioridad, constituyen una familia de v.a.i.i.d.
- ii. Las cuantías que exceden la prioridad u y el momento del tiempo en el que ocurren son independientes.

Bajo este método, la principal dificultad se encuentra en la elección del umbral u apropiado, ya que la teoría clásica no aborda dicho aspecto.

En este método considera dos puntos. El primero es la determinación del umbral u ; ya que cuanto menor sea el umbral, mayor es el número de observaciones, lo que disminuye la probabilidad de encontrar realmente cuáles son los datos más significativos del evento que se está estudiando; si se reduce el número de observaciones (con un umbral más elevado) se detectaría al menos una observación dejando afuera otros posibles valores importantes para el estudio. Segundo, es determinar qué función de distribución ajusta dichos excesos.

La función de distribución condicionada de los excesos por encima del valor u se denomina función de distribución de exceso en u F^u y está dada por la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 F^u(x) = F^u(y + u) &= P(X \leq y + u | X > u) = P(X - u \leq y | X > u) = \frac{P(u \leq X \leq y + u)}{1 - P(X < u)} \\
 &= \frac{P(u \leq X \leq y + u)}{1 - P(X < u)} = \frac{P(u \leq X \leq y + u)}{1 - F_x(u)} = \frac{P(X \leq y + u) - P(X \leq u)}{1 - F_x(u)} = \frac{F(y + u) - F(u)}{1 - F(u)} \\
 &, 0 \leq y \leq x_0 - u
 \end{aligned}$$

Donde u representa el umbral, X representa la variable aleatoria de la cuantía total, Y la variable aleatoria del exceso sobre u y sea inferior a un determinado valor x .

La función de distribución condicionada proporciona la probabilidad de que la variable aleatoria de exceso Y sea menor a un determinado valor y condicionado a que el siniestro supere el umbral u fijado y asimismo la probabilidad de que la variable aleatoria de la cuantía total del siniestro X sea inferior a un determinado valor x , condicionado a que el siniestro supere el umbral fijado u .

La siguiente probabilidad condicionada surge como cociente entre la probabilidad conjunta y la probabilidad del suceso condicionante, tal como se muestra:

$$\begin{aligned}
 F^u(x) = F^u(y + u) &= P(X \leq y + u | X > u), 0 \leq y \leq x_0 - u \\
 &= P(X - u \leq y | X > u) = \frac{F(x) - F(u)}{P(X \geq u)} \\
 &= P(X - u \leq y | X \geq u) = \frac{P(X \leq y + u \cap X \geq u)}{P(X \geq u)} = \frac{P(X \leq y + u \cap X \geq u)}{P(X \geq u)} \\
 &= \frac{P(u \leq X \leq y + u)}{1 - P(X < u)} = \frac{P(u \leq X \leq y + u)}{1 - F_x(u)} \\
 &= \frac{P(X \leq y + u) - P(X \leq u)}{1 - F_x(u)} = \frac{F(y + u) - F(u)}{1 - F(u)}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$F^u(x) = \frac{F(y+u) - F(u)}{1 - F(u)}$$

La función de supervivencia $(1 - F^u)$ de exceso en u se define como:

$$\begin{aligned} 1 - F^u(x) &= P(X > u + y | X > u) \\ &= P(X - u > y | X > u) = \frac{1 - F(x)}{1 - F(u)} = \frac{1 - F(y + u)}{1 - F(u)}, \quad 0 \leq y \leq x_0 - u \end{aligned}$$

Entonces,

$$1 - F^u(x) = \frac{1 - F(y + u)}{1 - F(u)}$$

Resultados equivalentes a los desarrollados para la GVE, permite describir el comportamiento de estas extremas observaciones cuando exceden un umbral. Si bien, el teorema de Fisher y Tippett fue el estudio clave en las investigaciones sobre la distribución de los máximos, el teorema de Pickands, Balkema y de Haan lo fue en el desarrollo de la distribución de los valores que exceden una prioridad.

El teorema de Pickands, Balkema y de Haan proporciona fundamentos teóricos y demuestra que, cuando la prioridad u toma un valor suficientemente, los datos por encima de ese punto siguen una distribución límite que es la función de Distribución de Pareto Generalizada.

Los principales resultados están contenidos en el siguiente teorema¹⁹:

Sean $\{X_i\}_{i=1}^n$ un familia de v.a.i.i.d. con una función de distribución común F , donde M_n representa el máximo de todas ellas, en el límite se verifica que:

$$P\left(\frac{M_n - b_n}{a_n} \leq x\right) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} G(x)$$

Donde

$$G(x) = \exp\left\{-\left[1 + \xi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)\right]^{-1/\xi}\right\}$$

Para algún $\mu, \sigma > 0$ y ξ .

¹⁹ Coles, S. (2001)

Entonces, para algún u suficientemente grande, la función de distribución de $X - u$ condicionada sobre $X > u$, es aproximadamente:

$$H(y) = 1 - \left(1 + \frac{\xi y}{\tilde{\sigma}}\right)^{-\frac{1}{\xi}}$$

Definida sobre

$$\left\{y: y > 0 \text{ y } \left(1 + \frac{\xi y}{\tilde{\sigma}}\right) > 0\right\}$$

Donde

$$\tilde{\sigma} = \sigma + \xi(u - \mu)$$

Además,

$$P(X > u + y | X > u) = \left(1 + \frac{\xi y}{\tilde{\sigma}}\right)^{-\frac{1}{\xi}}$$

Todas estas pruebas están en Leadbetter (1983).

La familia de distribuciones definida por $H(y)$, se conoce como Generalizada Pareto (DGP).

Por lo tanto, para un umbral u lo suficientemente grande, existe algún $\tilde{\sigma}$ que depende de u y algún ξ para los cuales DGP es una muy buena aproximación a la distribución de los excedentes de u .

El teorema de Pickands, Balkema y de Haan implica que si el bloque máximo tiene aproximadamente una distribución G , entonces los excedentes del umbral tienen aproximadamente una distribución que pertenece a la familia generalizada de Pareto. Los parámetros de DGP son determinados de manera única con los asociados a la distribución GVE.

Pickands muestra que la convergencia a la distribución generalizada de valores extremos, en el caso de una muestra de máximos, es equivalente asintóticamente a la distribución generalizada de Pareto, la distribución límite para estos excedentes²⁰.

Las distribuciones de valores excedentes que convergen a una DGP, pertenecen a la clase de las distribuciones continuas que son comunes en estadística; se pueden dividir en tres grupos de acuerdo con el valor de ξ .

²⁰ Pickands (1975).

Cuadro 2.4 Distribuciones y tipo de colas

Tipo de ξ	Caída de la cola	Distribución inicial F(x)	Tipo de cola
$\xi < 0$	La cola decae como una función de potencia	Exponencial	Colas medianas
		Gamma	
		Normal	
		Log-normal	
$\xi > 0$	La cola decae exponencialmente (tienen colas finas)	Pareto	Colas gruesas
		Cauchy	
		Burr	
		Log-gamma	
$\xi = 0$	Las colas cortas con un final finito	Uniforme	Colas suaves
		Beta	

Fuente: Elaboración del autor a partir Rivera, García Diego, "Valor en Riesgo: Metodologías para su estimación", 2010.

2.2.4 Modelos de colas pesadas

La presencia de colas pesadas fue reportada por primera vez por Mandelbrot (1963) y Fama (1965), a partir del estudio de los retornos del índice Dow Jones Industrial Average (DJIA). En la práctica, la existencia de colas pesadas implica que la probabilidad de obtener valores extremos en la distribución empírica es mucho mayor que lo que predice una distribución normal.

Para la detección de colas pesadas, se hace referencia que *“Los métodos paramétricos implícitamente se centran en realizar un buen ajuste en regiones donde están la mayoría de los datos, incluso sofisticados métodos no paramétricos es bien conocido que realizan un ajuste pobre en las colas”*²¹.

El escaso número de observaciones extremas hace difícil encontrar un método que sea capaz de ofrecer estimaciones fiables para futuros eventos extremos.

Son tres las características universales en los datos donde hay riesgo: la impredecibilidad, las colas pesadas (exceso de curtosis) y el agrupamiento de la volatilidad²².

La TVE pretende predecir valores elevados en las colas e incluso situaciones que superen todos los niveles históricos observados, y para ello no se parte de la distribución del conjunto de datos, sino de la modelización de los extremos por sí mismos, separadamente de la globalidad de la muestra.

²¹ Diebold, 1998.

²² Engle, 2004.

2.3 La pérdida máxima probable

Se define a la pérdida máxima probable como la máxima consecuencia (en término de daños) que es producida por la materialización de un evento accidental específico en base al criterio del “mejor escenario probable”, es decir, actuando todos los sistemas de control del riesgo específico (prevención, reducción) asignados para la exposición de pérdidas objeto del análisis.

La Comisión Nacional de Seguros y Fianzas (CNSF) la define como la pérdida estimada más grande que se produce debido a un evento individual que fue valorado con la atención debida teniendo en consideración todos los elementos del riesgo²³.

Entonces se define como la mayor pérdida que puede esperarse para el conjunto de datos durante algún evento catastrófico. La pérdida máxima probable depende de los riesgos individuales y de la distribución geográfica de esos riesgos.

Esta pérdida es grande si hay concentraciones importantes en lugares de alto riesgo por cualquier catástrofe y es pequeño si están uniformemente distribuidas en varios territorios.

2.4 Metodología de cálculo

La metodología de cálculo tiene en cuenta la probabilidad de ocurrencia de eventos catastróficos en todas áreas del país (claro, puede haber generalización, por continentes).

Para calcular la pérdida máxima probable se analizan los datos máximos de la base de datos, recurriendo al método de máximos por bloques o por umbral. Después se simula con los valores del evento catastrófico para obtener múltiples de posibles escenarios.

Para cada escenario, se reporta el dato más grande y se compara con los valores máximos obtenidos por los métodos mencionados para ver la relación que guardan y así, definir la pérdida máxima probable para cada escenario.

²³ <http://www.cnsf.gob.mx/>

Capítulo 3. Simulación estocástica de la pérdida catastrófica.

3.1 Introducción

En 1949 John Von Neumann y Stanislaw Ulam muestran el método de Monte Carlo y es la primera vez que se habla de simulación. Desde esa fecha, las simulaciones han crecido de manera considerable.

En 1975 Shannon define a una simulación como el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con la finalidad de aprender el comportamiento del sistema o de evaluar diversas estrategias para el funcionamiento del sistema.

3.2 Aplicación numérica

Existen dos procedimientos para obtener modelos:

1. *Análisis teórico o método deductivo*: con este procedimiento se caracteriza el comportamiento de los datos, que son plasmados en relaciones matemáticas.
2. *Análisis experimental o método inductivo*: consiste en construir un modelo matemático a partir de medidas de la base de datos; por ejemplo, frecuencia y severidad; dando una descripción detallada de cómo evoluciona a lo largo del tiempo, con el fin de observar el comportamiento del modelo y llevar a cabo la simulación.

En teoría, si se cuenta con suficientes datos se puede obtener un mejor ajuste a una función de distribución, sin embargo, si no se cuentan con los suficientes datos ó no se apegan de la mejor forma a la función de distribución, se puede aplicar el modelo de excesos de umbral.

No todos los eventos catastróficos se rigen bajo un mismo modelo, ni todos presentan un comportamiento normal, ni un mismo modelo de riesgo es válido para el ajuste de toda una distribución; puesto que no todas las distribuciones de pérdidas son iguales. Por ejemplo, en unos casos la distribución disminuye hasta tomar valores nulos mientras que en otras puede tender hasta valores infinitos; otro ejemplo son las distribuciones con cola pesada, las cuales expresan una mayor masa de probabilidad en la cola que distribuciones como la normal, además los valores que están sometidos a pérdidas infrecuentes pero cuantificables siguen distribuciones de cola gruesa.

Uno de los problemas del presente trabajo radica en la insuficiencia de datos para analizar y es debido a que en México no han existido una cantidad considerable de catástrofes; sin embargo, los escasos eventos trágicos han afectado de manera representativa a la economía y a la sociedad.

La Teoría de Valores Extremos ofrece a las áreas que analizan riesgo, métodos para estimar valores bajo una serie de hipótesis de modelos flexibles.

Para analizar cada uno de los escenarios catastróficos se aplican:

1. Prueba de Normalidad.
2. Selección de umbral.
3. Estimación de parámetros.

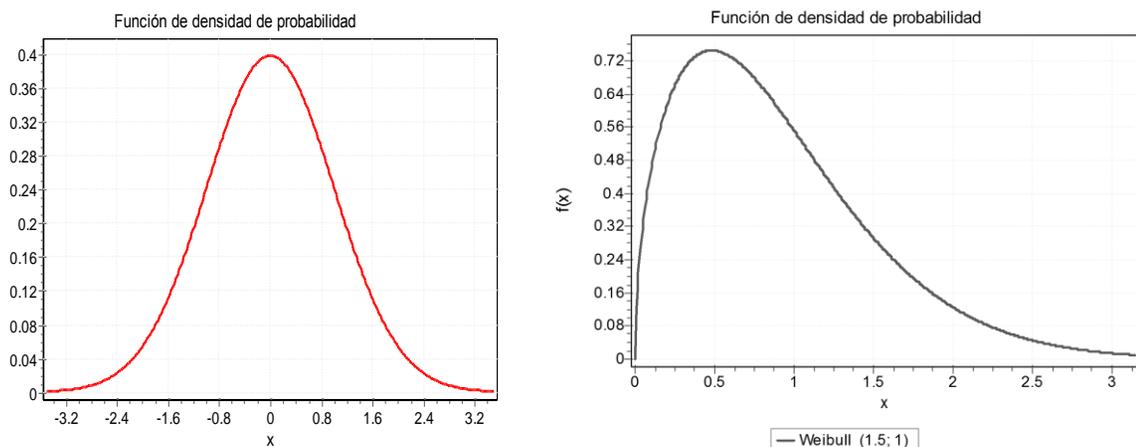
En definitiva, la Teoría del Valor Extremo aporta dos elementos fundamentales. En primer lugar, el ajuste de un modelo a la cola de la distribución de los eventos catastróficos y, en segundo, el cálculo correcto de las medidas 'clave' para optimizar la toma de decisiones.

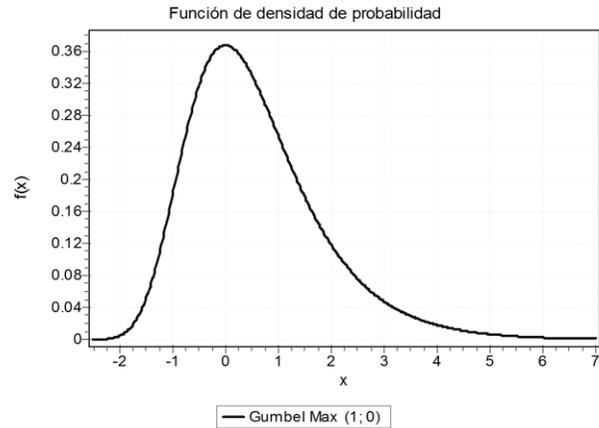
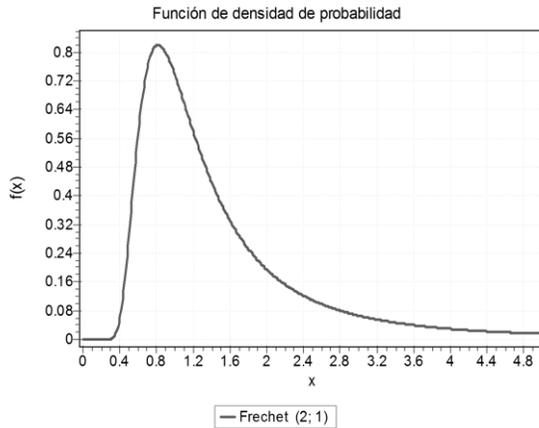
3.3 Prueba de Normalidad

Esta prueba es el primer paso a ejecutar en el análisis de los datos de cada uno de los escenarios de simulación. En esta prueba, se verifican si los datos se comportan normales y se pueden aplicar métodos estadísticos paramétricos convencionales. En caso contrario se deben transformar los datos o bien utilizar métodos no paramétricos.

La distribución normal utiliza los valores centrales o más frecuentes; sin embargo, los modelos o funciones sobre valores extremos requieren de una distribución que no desprezice la información que proporcionan las colas, es decir, el objetivo de estos modelos es determinar la distribución de los estadísticos de alto orden de una serie de valores. En la figura 3.1 se muestra el comportamiento de las diferentes distribuciones que se van a analizar.

Figura 3.1 Funciones de densidad Normal (0,1) y de valores extremos





Fuente: Elaboración del autor a partir del programa EasyFit.

Esta prueba determina de manera estadística, si un conjunto de valores muestra comportamiento ó similitudes con la distribución normal. Dos ejemplos de pruebas de normalidad son: Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov con la modificación de Lilliefors es la más utilizada y se considera uno de los *test* más potentes. Además, esta prueba está basada en el Teorema de Glivenko-Cantelli:

Teorema 3.1 (Teorema de Glivenko-Cantelli). Sea $\{X_n\}_{n \geq 1}$ una sucesión de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas definidas en el espacio de probabilidad (Ω, A, P) con función de distribución común F . Se denota por F_n la función de distribución empírica obtenida de las n primeras variables aleatorias X_1, X_2, \dots, X_n .

Entonces

$$\sup_{x \in \mathbb{R}} |F_n(x) - F(x)| \rightarrow 0 \text{ casi seguro.}$$

Considérese los valores observados:

$$Y_1 = y_1, Y_2 = y_2, \dots, Y_n = y_n,$$

Y en orden creciente, de tal manera que:

$$y_{(1)} < y_{(2)} < \dots < y_{(n)}.$$

La función de distribución empírica queda definida:

$$F_n(x) = \begin{cases} 0 & x < y_{(1)} \\ \frac{1}{n} & y_{(1)} \leq x < y_{(2)} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{j}{n} & y_{(j)} \leq x < y_{(j+1)} \\ \vdots & \vdots \\ 1 & y_{(n)} \leq x \end{cases}$$

El objetivo de esta prueba es evaluar un estadístico:

$$D_n = \sup |F_n(x) - F(x)|$$

Se consideran las diferencias contenidas en el valor absoluto y se observa sus valores máximos.

$$D_+ = \sup \{F_n(x) - F(x)\} \quad , \quad D_- = \sup \{F(x) - F_n(x)\}$$

Se extrae que:

$$F_n(y_{(n)}) = 1. \text{ Por lo que } D_+ \geq 0.$$

$$F_n(x) = 0 \text{ si } x < y_{(1)}, \text{ por lo tanto } D_- \geq 0.$$

Entonces,

$$D_n = \max \{D_+, D_-\}$$

En este test:

- La Hipótesis nula H_0 : es que el conjunto de datos siguen una distribución normal.
- La Hipótesis alternativa H_1 : es que no sigue una distribución normal.

Donde $F_n(x)$ es la distribución empírica y $F(x)$ la distribución teórica.

La hipótesis sobre la forma de distribución es rechazada en el nivel de significación elegido si el estadístico de prueba D_n , es mayor que el valor crítico obtenido de la tabla. Los valores fijos de (0.01, 0.05, ...) se utilizan generalmente para evaluar la hipótesis nula H_0 a varios niveles de significación. Un valor de 0.05 se utiliza típicamente para la mayoría de las aplicaciones.

El *P-Value*, en contraste con valores fijos, es calculado en base a la estadística de prueba, y denota el valor umbral del nivel de significancia en el sentido de que la hipótesis nula H_0 sea aceptada para todos los valores de menos de la *P-Value*. Por ejemplo, si $P = 0.025$, la hipótesis nula será aceptada en todos los niveles de significancia menor que P (es decir, 0.01 y 0.02), y rechazado en los niveles superiores, incluidos los 0.05 y 0.1. El *P-Value* es útil cuando la hipótesis nula es rechazada en todos los niveles de significación predefinidos, y lo que necesita saber en qué nivel podría ser aceptado.

La prueba Anderson-Darling se enfoca en comparar el ajuste de una distribución acumulada observada de una función de distribución acumulada esperada. Esta prueba da más peso a las colas más largas que la prueba de Kolmogorov-Smirnov, por esto también su importancia de comentarla, debido a que el interés de este trabajo es el análisis profundo sobre el comportamiento de las colas.

La prueba Anderson-Darling se define como:

$$A^2 = -n - \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (2i - 1) [\ln F(X_i) + \ln(1 - F(X_{n-i+1}))]$$

En este test:

- La Hipótesis nula H_0 : los datos siguen la distribución especificada.
- La Hipótesis Alternativa H_1 : los datos no siguen la distribución especificada.

La hipótesis sobre la forma de distribución es rechazada en el nivel de significación elegido si el estadístico de prueba es mayor que el valor crítico obtenido de la tabla.

Los valores críticos de la estadística de prueba Anderson-Darling dependen de la distribución que se esté analizando. Estos valores se calculan utilizando la fórmula de aproximación, y dependen del tamaño de la muestra. Este tipo de prueba es menos probable que rechace el buen ajuste, y puede ser utilizado con éxito para comparar la bondad de ajuste de varias distribuciones ajustadas.

Si la falta de normalidad de la variable es suficientemente fuerte, muchos de los contrastes utilizados en los análisis estadístico-inferenciales no son válidos, incluso aunque las muestras grandes tiendan a disminuir los efectos graves de la no normalidad, quien este haciendo el análisis, debería evaluar la normalidad de todas las variables incluidas en el análisis.

En el caso de que distribución no siga una tendencia normal, se tienen dos opciones:

1. Se puede intentar transformar la variable para que se distribuya de acuerdo a una función de distribución normal, o,

2. Se puede utilizar otra metodología estadística que presupongan poco acerca de la distribución de la población muestreada. Tales métodos se denominan de distribución libre o no paramétricos.

3.4 Selección de Umbral

No existe un fundamento teórico que sustente un procedimiento satisfactorio para este objetivo. Es por ello que se debe recurrir a utilizar una serie de procedimientos *ad hoc* para determinar el umbral para la estimación de los parámetros que ajuste razonablemente a los datos.

Más formalmente, Neftci (2000) seguido por Bekiros y Georgoutsos (2003), estimaron

$$u = 1.44 * \sigma_n * \frac{d-2}{d} = \sigma_n * F^{-1}(0.1) = 1.176 * \sigma_n$$

Donde σ_n es la desviación estándar de la muestra, $1.176 = F^{-1}(0.1) = 1.44 * \frac{d-2}{d}$; suponiéndose que $F \sim Student - t_d$ y que $d = 6$ es el número de grados de libertad.

Dos herramientas gráficas de gran ayuda para la obtención del umbral u son obtenidas a partir de R^{24} son el *Mean Residual Plot* y *Thereshold Choice Plot*.

El gráfico denominado *Mean Residual Life Plot (mrlplot)* se basa en la media teórica de DGP.

Considérese $X \sim GP_{(\mu, \sigma, \xi)}$, en teoría se tiene que:

$$E(X) = \mu + \frac{\sigma}{1-\xi} \text{ para } \xi < 1$$

En la práctica, X representa el exceso sobre un umbral μ_0 y si la aproximación por una DGP es suficientemente buena se tiene que:

$$E(X - \mu_0 | X > \mu_0) = \frac{\sigma_{\mu_0}}{1-\xi}$$

²⁴ El programa R es una versión del programa S creado en los laboratorios ATT-Bell. Fue creado al final de la década de los 80's, cuando salió el programa S+ y sus versiones comerciales, especialmente S-Plus. Sin embargo, R es un paquete estadístico público, y tiene una calidad superior a muchos otros paquetes estadísticos que tienen un precio elevado. Fue escrito principalmente en Scheme. Este paquete tiene la ventaja de contar con el apoyo de famosos estadísticos y científicos como Hastie, Tibshirani, Friedman, Ripley y Venables, entre otros. Muchos han contribuido con rutinas novedosas para implementar una metodología estadística, lo que lo coloca como una importante herramienta para investigaciones en estadística. El programa se puede obtener, para diferentes plataformas, en la dirección de Internet: <http://cram.r-project.org/>

Para todo nuevo umbral μ_1 tal que $\mu_1 > \mu_0$, los excesos por encima del nuevo umbral también son aproximados por una DGP con parámetros actualizados.

$$E(X - \mu_1 | X > \mu_1) = \frac{\sigma_{\mu_1}}{1 - \xi} = \frac{\sigma_{\mu_0} + \xi_{\mu_1}}{1 - \xi}$$

La cantidad $E(X - \mu_1 | X > \mu_1)$ es lineal en μ_1 . O también $E(X - \mu_1 | X > \mu_1)$ puede considerarse como la medida de los excesos por encima del umbral μ_1 , el cual puede ser estimado fácilmente utilizando la media empírica. De este modo, la gráfica `mrlplot` consiste en representar los puntos:

$$\left\{ \left(\mu, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n_\mu} x_{i,n_\mu} - \mu \right) : \mu \leq x_{m\acute{a}x.} \right\}$$

donde n_μ es el número de observaciones x por encima del umbral μ , x_{i,n_μ} es la i -ésima observación por encima del umbral y $x_{m\acute{a}x.}$ es el máximo de las observaciones x .

El segundo gráfico en R, *Threshold Choice Plot* (`tcplot`) analiza la estabilidad de la estimación del modelo con base en el ajuste de distintos modelos, utilizando umbrales en un rango determinado. Para esto, se hacen las siguientes consideraciones.

Sea $X \sim \text{GP}_{(\mu_0, \sigma_0, \xi_0)}$, μ_1 algún otro umbral tal que $\mu_1 > \mu_0$. Además, la variable $X | X > \mu_1$ es también GP con parámetros actualizados: $X | X > \mu_1 \sim \text{GP}_{(\mu_1, \sigma_1, \xi_1)}$, donde $\xi_1 = \xi_0$ y además $\sigma_1 = \sigma_0 + \xi_1(\mu_1 - \mu_0)$.

Considérese $\sigma^ = \sigma_1 - \xi_1 * \mu_1$.*

De este modo, los estimados de σ^ y ξ_1 son constantes para todo $\mu_1 > \mu_0$, si μ_0 es un umbral adecuado para la aproximación asintótica.*

Las gráficas de elección del umbral representan los puntos bien definidos por:

$$\{ (\mu_1, \sigma^*) : \mu_1 \leq x_{m\acute{a}x.} \} \text{ y } \{ (\mu_1, \sigma_1) : \mu_1 \leq x_{m\acute{a}x.} \}$$

Donde $x_{m\acute{a}x.}$ Es el máximo de observaciones de x .

3.5 Estimación de Parámetros

En el estudio de extremos se presentan algunos problemas: para el caso de los máximos y el ajuste de la GEV, la principal cuestión consiste en elegir la longitud de los bloques de los que se extraen los máximos; mientras que para el caso de los excesos sobre una prioridad, la disyuntiva involucra la selección del umbral óptimo.

La clave fundamental de toda modelización consiste en la estimación de los parámetros característicos de las distribuciones que ajustan, o bien los máximos o los excesos.

La modelación consiste en ajustar una distribución paramétrica a la muestra histórica con el objeto de hacer inferencia y predecir, se requiere de una correcta estimación de los parámetros característicos de la distribución de que se trate.

El parámetro crucial que interviene en estas distribuciones es el índice de cola (ξ), especialmente cuando el objetivo final es la inferencia de siniestros de elevada cuantía. Su estimación va ligada a la óptima selección del tamaño de los bloques o al nivel óptimo de prioridad, ya que, no para todos los tamaños y umbrales se consigue un estimador adecuado.

Por tanto, el tamaño de los bloques o el nivel de prioridad óptimos serán aquellos que den lugar a estimaciones del índice de cola que cumplan las condiciones deseables de bondad.

Diversos autores han propuesto métodos y estimadores con la intención de obtener parámetros con características idóneas. Entre otras, se incluyen técnicas gráficas basadas en los gráficos de cuantil-cuantil, métodos basados en los momentos, procedimientos que utilizan los estadísticos de orden, estimadores a través de las funciones de máxima verosimilitud, etc.

La estimación de los parámetros a través de máxima verosimilitud ha sido objeto de numerosas investigaciones por que cumplen características óptimas y tienden a ser insesgados; sin embargo, para realizar dichas estimaciones se requiere del empleo de algún paquete informático o software estadístico que sirva a tal efecto, ya que la función de máxima verosimilitud se resuelve a través de un algoritmo SIMPLEX, que al ser iterativo, requiere de estimaciones iniciales para los parámetros.

Sea una muestra de n máximos muestrales obtenida de los valores máximos de n bloques, todos ellos con la misma longitud. Asumiendo que el tamaño de cada bloque es suficientemente grande para que el teorema de Fisher-Tippet se sostenga, los estimadores de máxima verosimilitud son aquellos que maximizan la función de verosimilitud muestral.

La mayoría de las distribuciones encontradas en seguros y finanzas son ilimitadas por la derecha y en estas condiciones, los estimadores de máxima verosimilitud ofrecen un procedimiento útil y de confianza en estos campos.

3.6 Escenarios de simulación

El objetivo es enfatizar el impacto que poseen los eventos catastróficos. Así, se procede a mostrar el avance con respecto a los escenarios en sismos, fenómenos hidrometeorológicos e incendio.

El proceso es el siguiente: se dividirá cada escenario en dos, en el primer y segundo análisis exploratorio; en el inicial, el enfoque está en las pérdidas humanas y en el otro en las económicas.

En cada caso, se gráfica toda la serie de datos, para tener un panorama general del comportamiento de los mismos. Los datos significativos, se aíslan y se hace otro gráfico con el propósito de comparar las tendencias de los valores. Posteriormente, se selecciona un umbral con el paquete POT de R y se denota en el histograma de los valores para visualizar cuáles son los valores que exceden dicho umbral, con el fin de inferir en la posible pérdida máxima probable que después es contrastada con la obtenida en la simulación. Para ajustar una distribución a los valores, se recurre al paquete EasyFit²⁵ que apoya para determinar los parámetros, funciones de distribución y otros gráficos para la toma de decisión de cuál es la distribución que mejor ajusta la tendencia de los datos.

Finalmente, después de haber detectado esta distribución, se realizará una simulación ocupando StatAssist²⁶ a partir de los parámetros de la función con el fin de determinar la frecuencia o severidad máxima probable para el escenario y evento que se esté analizando.

3.6.1 Escenario sismo

Primer análisis exploratorio. En el cuadro 3.1 se muestra los datos de *Desinventar*. Es muy importante hacer la siguiente anotación: se considera en el escenario a “pérdidas humanas” = muertos + heridos + desaparecidos y pérdidas económicas tal cual.

Cuadro 3.1 Datos para escenario de sismo, de 1970 a 2009

Año	Pérdidas humanas	Pérdidas económicas
1970	-	-
1972	-	-
1973	3,604	250,000,000
1974	-	-
1975	11	-
1976	21	-

Año	Pérdidas humanas	Pérdidas económicas
1991	1	-
1992	-	-
1994	17	4,000,000
1995	82	4,364,009
1996	1	-
1997	-	-

²⁵ EasyFit permite ajustar automáticamente las distribuciones a los datos de la muestra y seleccionar el mejor modelo. Está diseñado para hacer el análisis de datos lo más fácil posible.

²⁶ StatAssist es una herramienta integrada que permite explorar las propiedades de diversas distribuciones de probabilidad.

Año	Pérdidas humanas	Pérdidas económicas
1978	51	-
1979	94	5,000,000
1980	558	-
1981	80	-
1982	15	-
1983	-	-
1984	-	-
1985	52,911	570,000,000
1986	-	-
1987	-	-
1989	162	-
1990	-	-

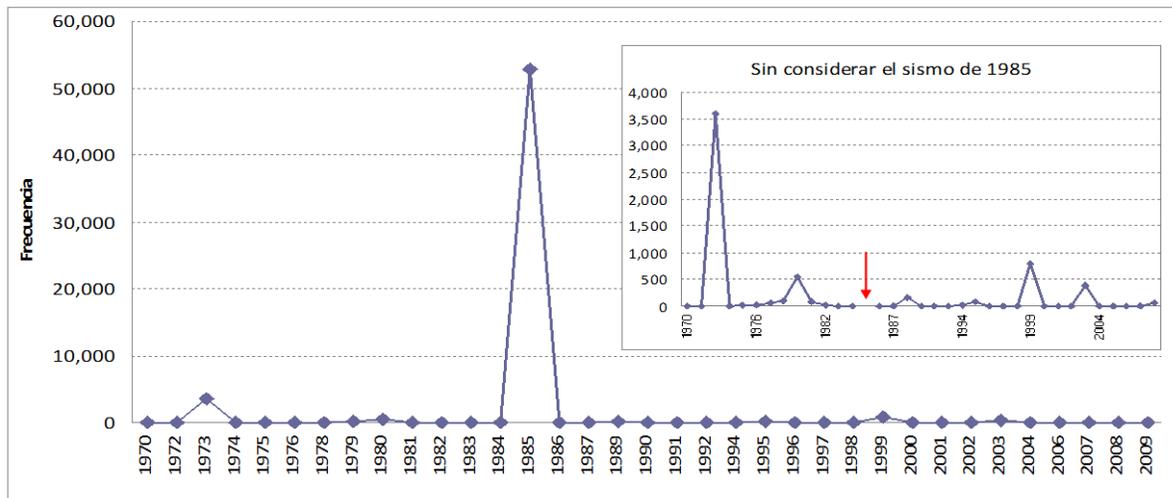
Año	Pérdidas humanas	Pérdidas económicas
1998	-	-
1999	796	283,800,000
2000	4	-
2001	-	-
2002	-	-
2003	385	-
2004	-	-
2006	8	-
2007	4	-
2008	-	-
<u>2009²⁷</u>	52	-

Fuente: Elaboración del autor a partir de la página www.desinventar.net

El análisis se comienza con pérdidas humanas.

En 1985 se presenta el sismo más catastrófico en México con 52,911 muertos. En la esquina superior derecha de la figura 3.2 se muestra el comportamiento de los demás años sin considerar 1985 para visualizar el proceder de los demás años sin este dato históricamente catastrófico.

Figura 3.2 Pérdidas humanas por sismo en México



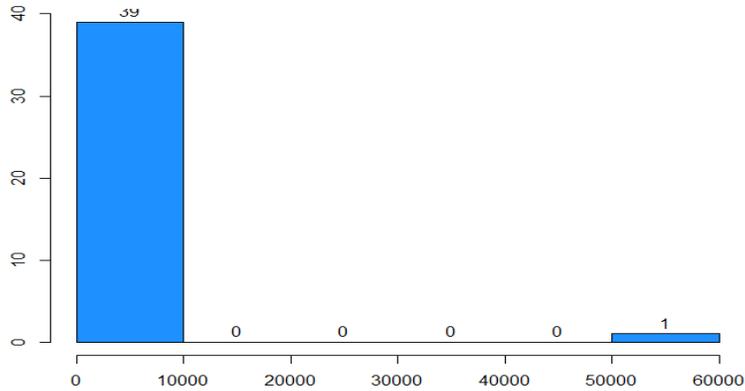
Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de sismos.

De la figura 3.2 se obtiene que no sólo 1985 es el evento más catastrófico en la historia de México, sino que 1973 también es representativo con una cantidad superior a 3,500 muertes.

²⁷ Incluye algunos valores del año 2010 y 2011.

Figura 3.3 Estadísticos e histograma de pérdidas humanas por sismo

<i>Min</i>	<i>1° Cuartil</i>	<i>2° Cuartil</i>	<i>Mediana</i>	<i>Media</i>	<i>3° Cuartil</i>	<i>Máx.</i>
-	-	-	0.5	1471	51	52,911

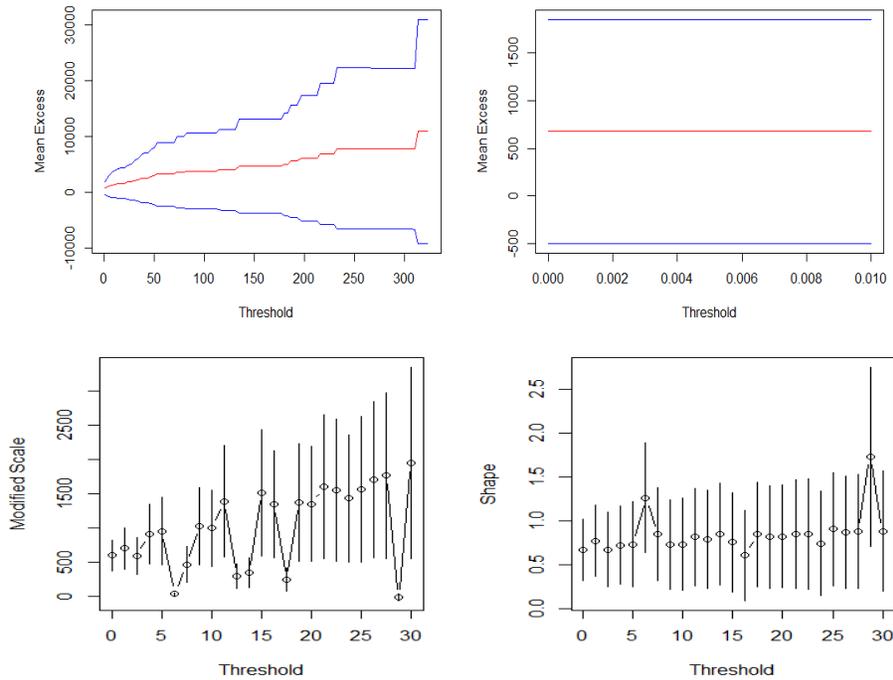


Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de sismos.

La gran mayoría de los valores están concentrados en un intervalo entre el (0 , 10,000) y solo existe un dato (1985 con 52,911 muertos) el cual se caracteriza como el máximo.

Selección de umbral: Para seleccionar el umbral se usa la función y gráfica `mrlplot` y `tcplot`²⁸.

Figura 3.4 Gráfico de vida residual y elección de umbral de pérdidas humanas por sismo

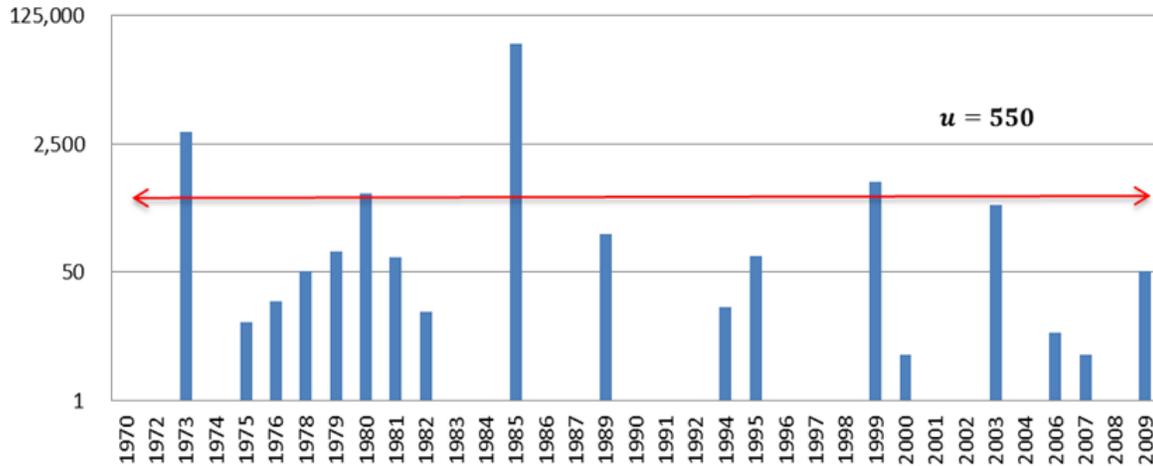


Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de sismos y ocupando la función `mrlplot` y `tcplot` en R.

²⁸ Estas funciones están implementadas en R en el paquete POT.

Para determinar el valor se hace un acercamiento al gráfico y se determina que $u = 550$ es el umbral conveniente. Se usa la función `tcplot` para corroborar lo obtenido con la función `mrplot`. En la figura 3.5 se exhiben los años que superan el umbral de pérdidas humanas.

Figura 3.5 Diagrama de pérdidas humanas por sismo con el umbral seleccionado



Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de sismos y con el umbral seleccionado.

La escala anterior fue aplicada así para apreciar aquellos valores que están superiores al umbral. Se demuestra que son 4 aquellos datos que sobrepasan el umbral y están presentes en los siguientes años: 1973 con 3604 pérdidas humanas, 1980 con 558, 1985 con 52911 y en el año 1999 con 796 pérdidas. El primer valor que empieza a pasar el umbral es el de 558 que es muy difícil percibirlo en la figura anterior y, como era de esperarse, el dato del sismo de 1985 es, sin duda, el más representativo de todas las catástrofes ocurridas en México desde 1970.

Prosigue el ajuste de las distribuciones para determinar el comportamiento de la base de datos que se está analizando. Después se hace una simulación tomando como referencia los parámetros de la mejor función de distribución seleccionada y así determinar cuál es la pérdida máxima probable ó frecuencia máxima probable que puede existir.

Ajuste de la distribución: Para encontrar y definir la distribución de los datos, se usa el programa EasyFit a través de Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling.

Cuadro 3.2 Pruebas para definir la distribución de pérdidas humanas por sismo

Gumbel Max		Frechet (3P)		Weibull	
Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov	
Estadística	0.495	Estadística	0.522	Estadística	0.500
Valor P	-	Valor P	-	Valor P	-
Valor crítico	0.210	Valor crítico	0.210	Valor crítico	0.210
¿Rechazar?	Sí	¿Rechazar?	Sí	¿Rechazar?	Sí
Anderson-Darling		Anderson-Darling		Anderson-Darling	
Estadística	13.343	Estadística	29.877	Estadística	- 7.148
Valor crítico	2.501	Valor crítico	2.501	Valor crítico	2.501
¿Rechazar?	Sí	¿Rechazar?	No	¿Rechazar?	No
Weibull (3P)		GEV		DGP	
Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov	
Estadística	0.500	Estadística	0.276	Estadística	0.296
Valor P	-	Valor P	0.003	Valor P	0.001
Valor crítico	0.210	Valor crítico	0.210	Valor crítico	0.210
¿Rechazar?	Sí	¿Rechazar?	Sí	¿Rechazar?	Sí
Anderson-Darling		Anderson-Darling		Anderson-Darling	
Estadística	26.160	Estadística	4.690	Estadística	4.505
Valor crítico	2.501	Valor crítico	2.501	Valor crítico	2.501
¿Rechazar?	No	¿Rechazar?	Sí	¿Rechazar?	Sí

Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de sismos y ocupando EasyFit y con valor crítico $\alpha = 0.05$.

Se afirma que de las tres distribuciones de valores extremos, la función de distribución Weibull (3P) es la que menos se ajusta a los datos de sismos y, por su lado, la distribución Gumbel Max es la más apropiada para los valores mostrados en la tabla de sismos correspondientes a las pérdidas humanas pese a que se rechacen las dos pruebas. Además, se rechazan todas las funciones de distribución bajo la prueba Kolmogorov-Smirnov.

Los parámetros de cada una de las distribuciones se obtienen mediante EasyFit.

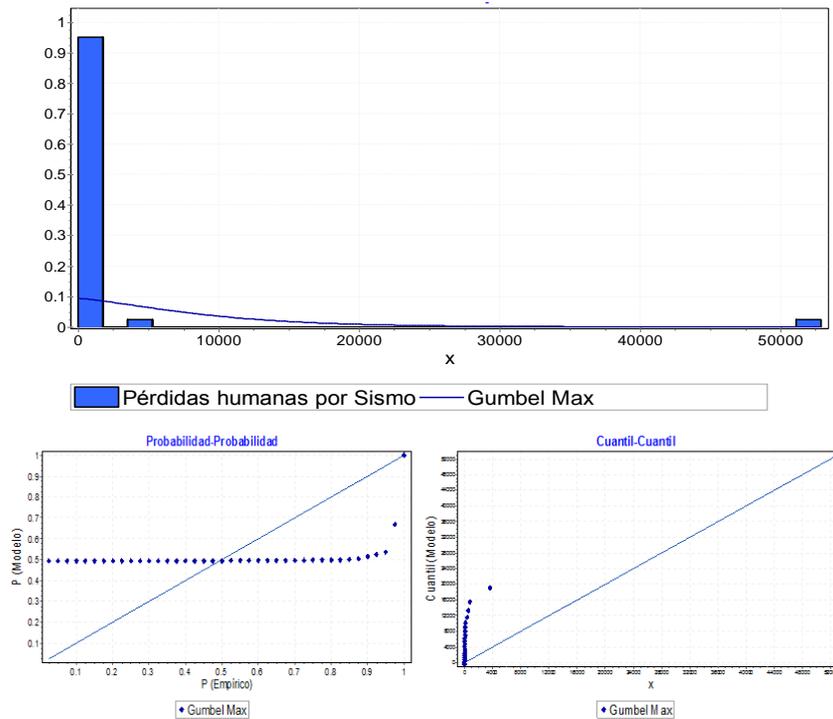
Cuadro 3.3 Parámetros de las distribuciones de pérdidas humanas por sismo

Distribución	Parámetros		
	ξ - forma	μ - localización	σ - escala
Frechet	0.396	-	0.968
Frechet (3P)	0.458	-	28.230
Gen. Extreme Value	0.980	6.290	28.230
Gen. Pareto	0.979	29.762	- 12.440
Gumbel Max	-	- 2,291.990	6,519.950
Weibull	0.149	-	1.660
Weibull (3P)	0.335	-	223.103

Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de sismos y ocupando EasyFit.

Se muestran la función de distribución que mejor se ajusta de las tres distribuciones, el gráfico pp (probabilidad-probabilidad) y qq (cuantil-cuantil), adicionalmente la distribución Generalizada del Valor Extremo (GEV) y Generalizada Pareto (DGP).

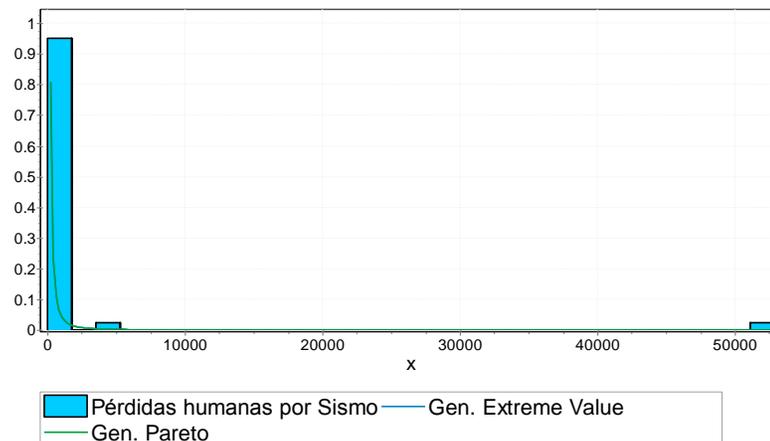
Figura 3.6 Función de densidad, gráfico pp y qq de pérdidas humanas por sismo



Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de sismos y ocupando EasyFit.

Se visualiza que la función de distribución Gumbel se va pegando a cero de manera considerable conforme va avanzando en x .

Figura 3.7 Distribución DGP y GEV de pérdidas humanas por sismo

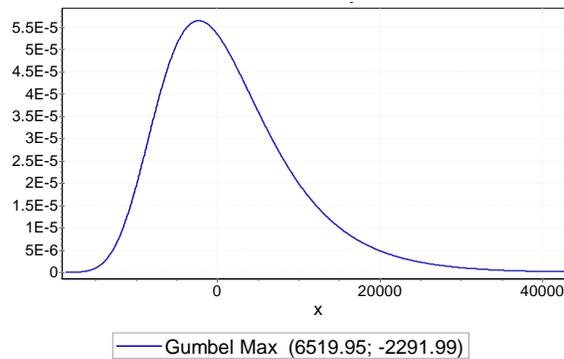


Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de sismos y ocupando EasyFit.

Se plantea es hacer una simulación a partir de la función que mejor se adecua a las pérdidas en sismo. Esta simulación se lleva acabo usando una herramienta que también se encuentra en EasyFit, llamada StatAssist y el número de simulaciones que se efectuarán serán 10,000.

Posteriormente se calcula la frecuencia máxima probable para pérdidas humanas por sismo.

Figura 3.8 Distribución que mejor se ajusta a los datos de pérdidas humanas por sismo

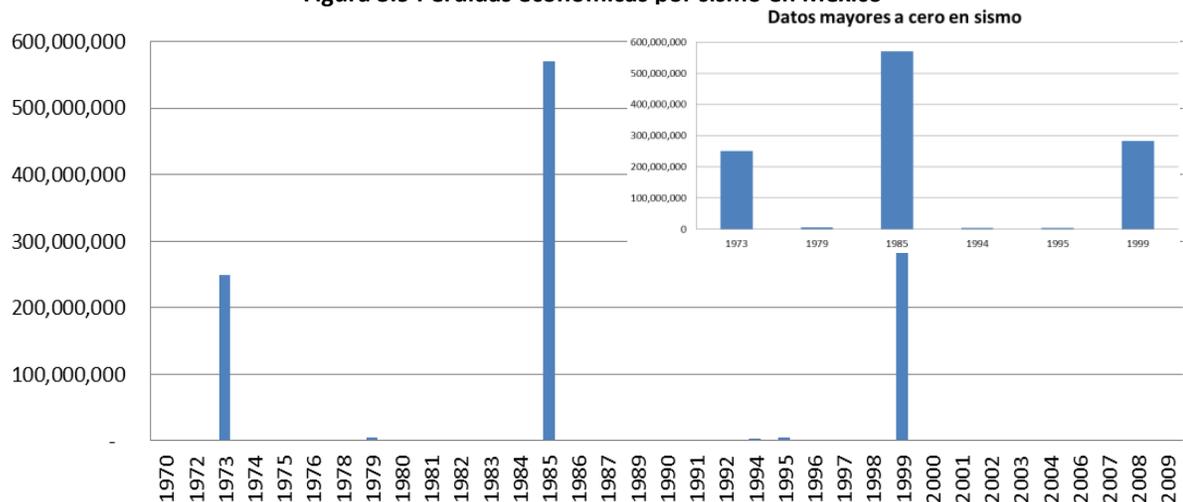


Fuente: Elaboración del autor a partir de los parámetros de la distribución que mejor se ajusta a la base de datos de sismos y ocupando StatAssist.

Entonces, la frecuencia máxima esperada respecto a las posibles pérdidas humanas por sismos de acuerdo a las 10,000 simulaciones es: 54,814 pérdidas humanas.

Segundo análisis exploratorio. Se grafican los datos del Cuadro 3.1.

Figura 3.9 Pérdidas económicas por sismo en México



Fuente: Elaboración del autor a partir de la página www.desinventar.net

En la figura 3.9 es muy difícil notar aquellos valores mayores a cero y menores a 100 millones, debido a que quien “rige” de alguna u otra manera la escala del gráfico, es la severidad del temblor de 1985

con \$570 millones. El gráfico de la esquina muestra que son únicamente 6 datos mayores a cero registrados en la base de datos y los que se destacan los montos del sismo de 1973, 1985 y 1999.

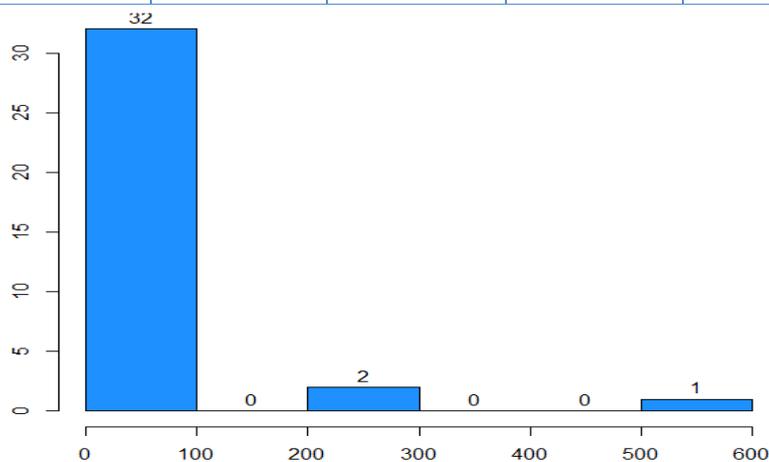
El sismo de 1973 también es conocido como El Terremoto de Orizaba, y ha sido el terremoto más fuerte que haya tenido lugar en el estado mexicano de Veracruz²⁹. El terremoto más representativo en México ha sido el terremoto del jueves 19 de septiembre de 1985, distinguido como el Terremoto del '85; este sismo afectó en la zona centro, sur y occidente de México y la más afectada fue la capital del país. Y esto no solo acabó el 19, sino que la réplica del viernes 20 de septiembre de 1985 también tuvo gran repercusión para la Ciudad de México. El sismo de 1999 es el más fuerte ocurrido en México desde el año 1985 y el más grande que ocurre cerca de la costa de Oaxaca.

La figura 3.10 muestra el comportamiento estadístico de los datos.

Figura 3.10 Estadísticos e histograma de pérdidas económicas por sismo

Cifras en miles de pesos.

<i>Min</i>	<i>1° Cuartil</i>	<i>2° Cuartil</i>	<i>Mediana</i>	<i>Media</i>	<i>3° Cuartil</i>	<i>Máx.</i>
-	-	-	-	31,920	-	570,000



Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de sismos.

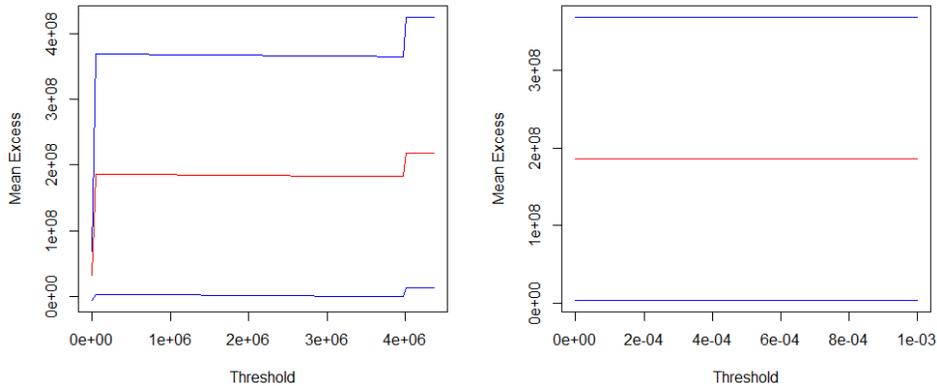
La mayoría de valores están concentrados en un intervalo entre el (0,100 millones) y solo existe un dato (1985 con \$570 millones) que se caracteriza como el máximo de la base de datos. La barra de la mitad del gráfico, concentra los montos de 1973 con \$250 y 1999 con \$283.8 millones.

De manera un poco más específica, la mayoría de los datos registrados correspondientes a pérdidas económicas son cero, haciendo que el histograma tienda a la izquierda.

²⁹ Sismógrafo veracruzano.

Selección de umbral: Se recurre a la función y gráfica `mrplot`.

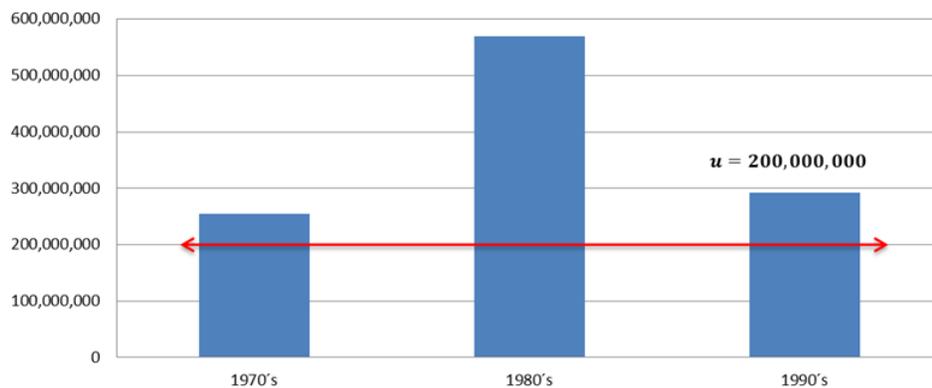
Figura 3.11 Gráfico de vida residual de pérdidas económicas por sismo



Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de sismos y ocupando la función `mrplot` y `tcplot` en R.

Se determina que $u = 200,000,000$ es el umbral conveniente para el modelo y se muestra junto con el acumulado por década dado que los montos por año son muy pequeños.

Figura 3.12 Diagrama de pérdidas económicas por sismo con el umbral seleccionado



Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de sismos y con el umbral seleccionado.

La década de los 80's sigue a la cabeza debido al gran peso que tuvo el temblor del '85 para la economía nacional.

Ahora, lo que continua es el ajuste de una de las distribuciones para después hacer una simulación tomando como referencia los parámetros de la mejor función de distribución seleccionada, para que en seguida se determine cuál es la severidad máxima esperada que puede existir.

Ajuste de la distribución: Se ocupan las pruebas Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling para definir la distribución que se ocupara.

Cuadro 3.4 Pruebas para definir la distribución de pérdidas económicas por sismo

Gumbel Max		Frechet (3P)		Weibull	
Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov	
Estadística	0.45	Estadística	0.83	Estadística	0.83
Valor P	0.0000006	Valor P	-	Valor P	-
Valor crítico	0.22	Valor crítico	0.22	Valor crítico	0.22
¿Rechazar?	Si	¿Rechazar?	Sí	¿Rechazar?	Sí
Anderson-Darling		Anderson-Darling		Anderson-Darling	
Estadística	10.04	Estadística	55.41	Estadística	56.28
Valor crítico	2.50	Valor crítico	2.50	Valor crítico	2.50
¿Rechazar?	Si	¿Rechazar?	Si	¿Rechazar?	Si
Weibull (3P)		GEV		DGP	
Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov	
Estadística	0.83	Estadística	0.53	Estadística	0.51
Valor P	-	Valor P	0.000000002	Valor P	0.000000001
Valor crítico	0.22	Valor crítico	0.22	Valor crítico	0.22
¿Rechazar?	Sí	¿Rechazar?	Sí	¿Rechazar?	Sí
Anderson-Darling		Anderson-Darling		Anderson-Darling	
Estadística	56.28	Estadística	10.43	Estadística	9.73
Valor crítico	2.50	Valor crítico	2.50	Valor crítico	2.50
¿Rechazar?	Si	¿Rechazar?	Si	¿Rechazar?	Si

Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de sismos y ocupando EasyFit y con valor crítico $\alpha = 0.05$.

Sin embargo, para los datos de pérdidas económicas no es apropiada ninguna distribución de acuerdo a las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling, debido a que en todas las pruebas a las distribuciones que se analizan se rechazan; esto hace que el enfoque sea sobre el método del umbral.

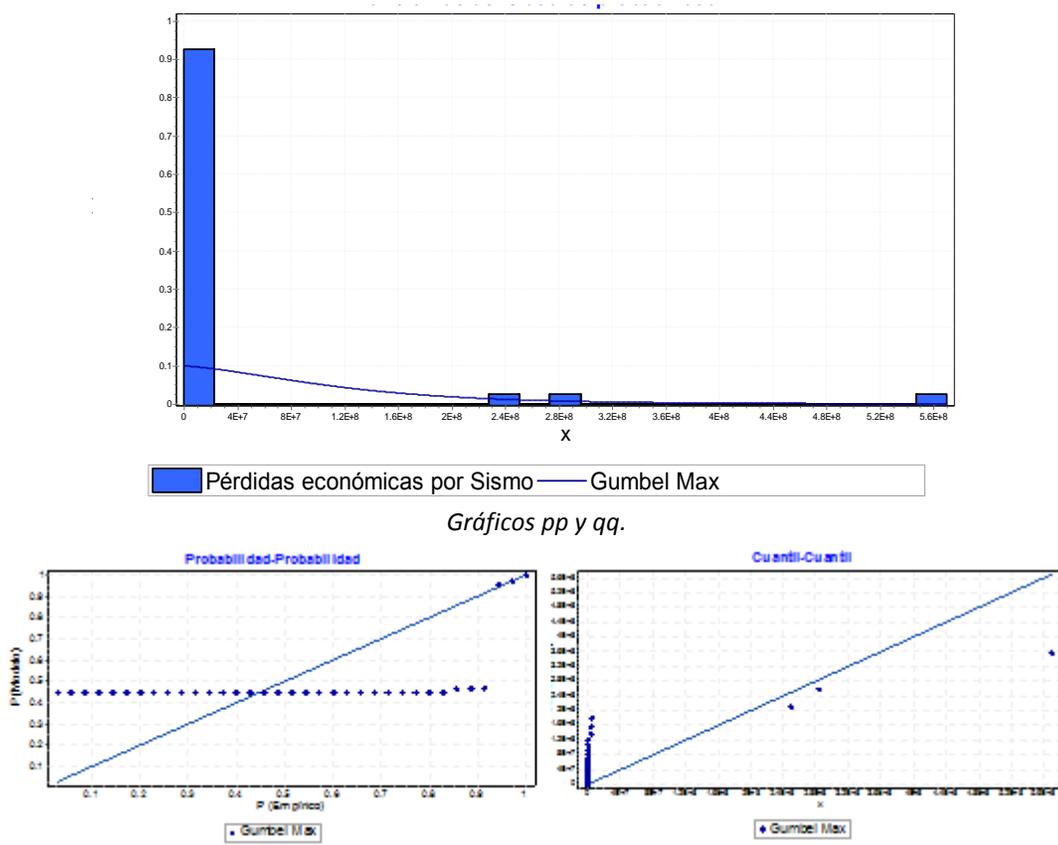
Cuadro 3.5 Parámetros de las distribuciones de pérdidas económicas por sismo

Distribución	Parámetros		
	ξ - forma	μ - localización	σ - escala
Frechet	0.5509	-	13,258,400
Gen. Extreme Value	0.9134	506,652	2,855,660
Gen. Pareto	0.9071	3,099,170	- 1,430,180
Gumbel Max	-	87,922,700	- 18,831,400
Weibull	0.5364	-	115,865,000

Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de sismos y ocupando EasyFit.

La única distribución que muestra mejor apego a los datos es la Gumbel y, es así como se muestra esta función de distribución, su gráfico pp (probabilidad-probabilidad) y qq (cuantil-cuantil), de manera agregada con la distribución GEV y DGP.

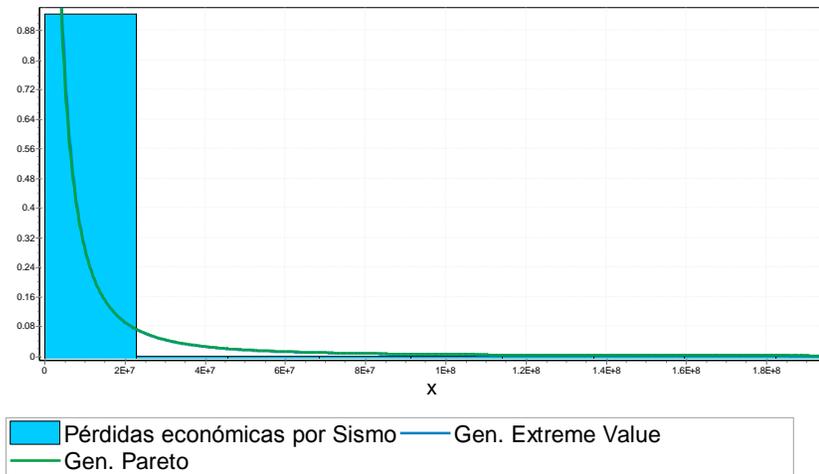
Figura 3.13 Función de densidad, gráfico *pp* y *qq* de pérdidas económicas por sismo



Gráficos *pp* y *qq*.

Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de sismos y ocupando EasyFit.

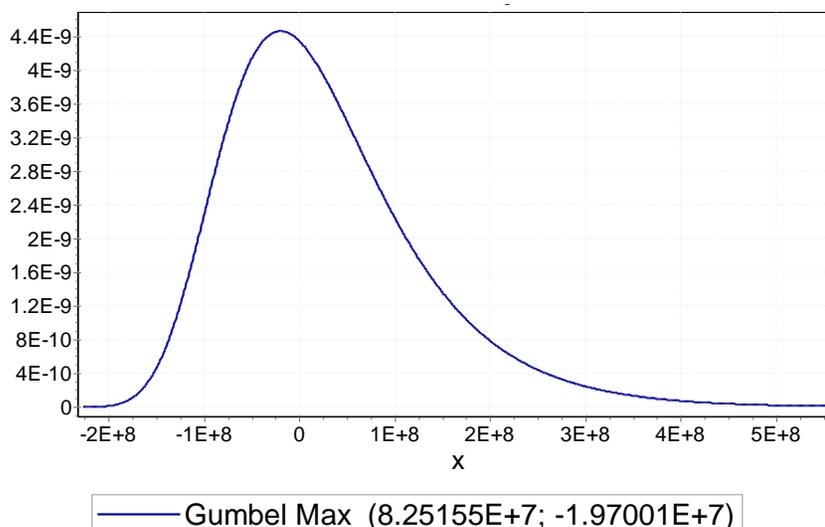
Figura 3.14 Distribución DGP y GEV de pérdidas económicas por sismo



Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de sismos y ocupando EasyFit.

Se muestra la función de densidad Gumbel con los parámetros que se obtuvieron.

Figura 3.15 Distribución que mejor se ajusta a los datos de pérdidas económicas por sismo



Fuente: Elaboración del autor a partir de los parámetros de la distribución que mejor se ajusta a la base de datos de sismos y ocupando StatAssist.

De los montos generados a través de las 10,000 simulaciones, se obtiene la severidad máxima esperada, la cual es de \$ 1,793,647,906.

3.6.2 Escenario fenómenos hidrometeorológicos

Primer análisis exploratorio. Se muestran los datos representativos para fenómenos hidrometeorológicos en el cuadro 3.6.

Cuadro 3.6 Datos para escenario de fenómenos hidrometeorológicos de 1970 a 2009

Año	Pérdidas humanas	Pérdidas económicas	Año	Pérdidas humanas	Pérdidas económicas
1970	66	140,200,000	1991	261	10,932,400,000
1971	18	62,000,000	1992	110	-
1972	67	180,500,000	1993	553	346,200,000
1973	1,083	240,000,000	1994	110	500,103,000
1974	1,384	155,110,000	1995	496	26,000,000
1975	134	100,400,000	1996	200	30,000,000
1976	917	200,000,000	1997	742	-
1977	40	-	1998	969	1,625,000,000
1978	298	162,060,000	1999	4,752	162,500,000
1979	660	1,817,000,000	2000	83	10,000,000

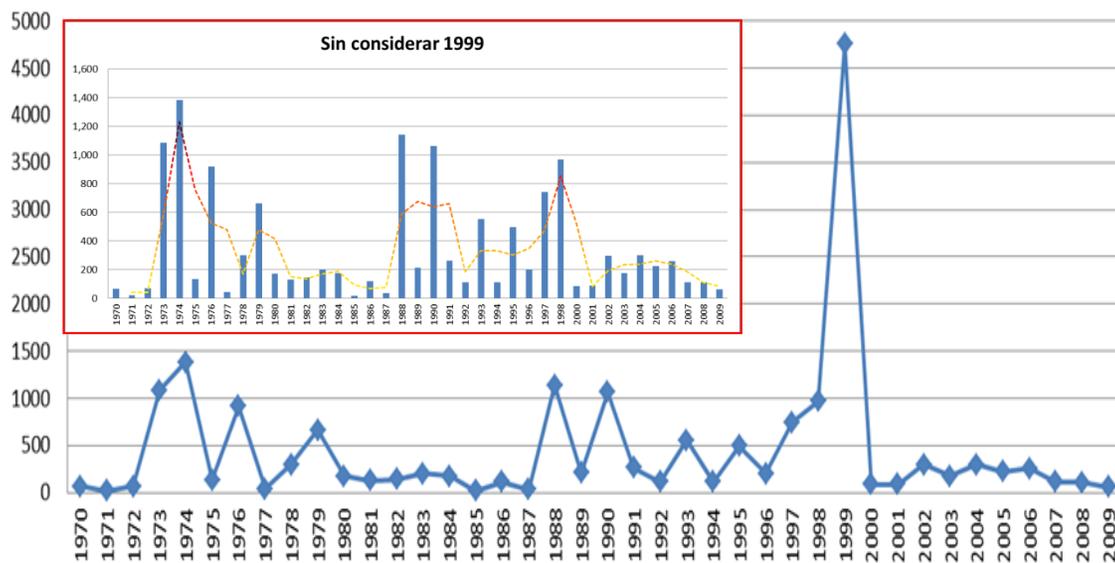
Año	Pérdidas humanas	Pérdidas económicas
1980	172	2,250,500,000
1981	129	940,000,000
1982	142	55,370,000
1983	200	4,934,015,000
1984	174	757,000,000
1985	17	150,000,000
1986	116	21,720,000,000
1987	35	150,000,000
1988	1,141	522,745,000,000
1989	211	9,020,000,000
1990	1,062	4,000,000

Año	Pérdidas humanas	Pérdidas económicas
2001	86	1,655,000,000
2002	295	10,216,840,000
2003	174	65,227,001,000
2004	299	136,700,000
2005	223	8,563,400,000
2006	256	241,500,000
2007	111	321,134,600,000
2008	108	525,800,000
2009	59	570,000,000

Fuente: Elaboración del autor a partir de la página www.desinventar.net
f.h.: fenómenos hidrometeorológicos

El primer interés es visualizar el comportamiento gráfico de la primera variable.

Figura 3.16 Pérdidas humanas por fenómenos hidrometeorológicos



Fuente: Elaboración del autor a partir de la página www.desinventar.net

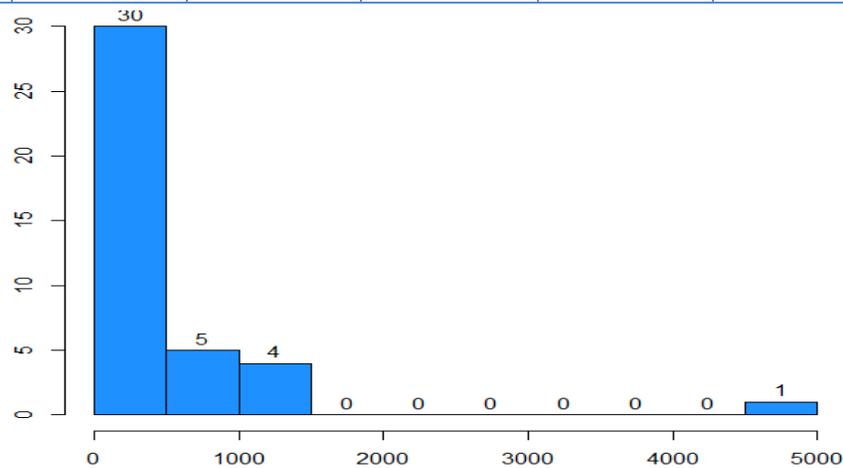
El evento catastrófico más notorio en este fenómeno es el ocurrido en 1999 con un registro de 4,752 pérdidas humanas. El siniestro está asentado en la historia como un ejemplo de la agresividad de los fenómenos hidrometeorológicos y, específicamente, durante la temporada de huracanes de 1999, la cual fue considerada como una de las más activas dentro de los últimos años debido al impacto de seis ciclones tropicales, de los cuales cuatro se originaron en el Golfo de México.

Dentro de la gran actividad de huracanes de la temporada de 1999, la cuenca oceánica del Atlántico registró siete ciclones más por encima de la media de nueve ciclones tropicales de 1966 a 1999 (SMN-CNA, 1999). Debido a los efectos que generó la depresión tropical No. 11 se consideró como el evento ciclónico de mayor afectación en México.

Se determina que las frecuencias en los intervalos de 1980 a 1987 y de 2000 al 2009 no superan los 250 elementos. Sin embargo, en los demás periodos no mencionados, existen 6 años que sobresalen las 800 pérdidas humanas y la mayoría se concentra en los años setentas.

Figura 3.17 Estadísticos e histograma de pérdidas humanas por f.h.

<i>Min</i>	<i>1° Cuartil</i>	<i>2° Cuartil</i>	<i>Mediana</i>	<i>Media</i>	<i>3° Cuartil</i>	<i>Máx.</i>
17	110	110	187	449	510	4,752



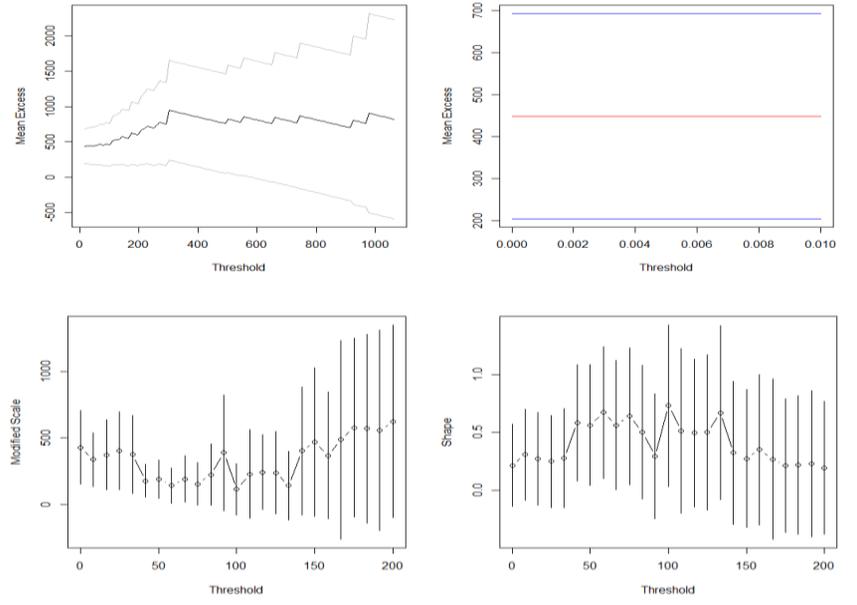
Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de fenómenos hidrometeorológicos.
f.h.: fenómenos hidrometeorológicos

La información brindada por el 3° cuartil proporciona que la gran mayoría de las frecuencias de las pérdidas humanas están por debajo de 510. El histograma muestra que el 98% de los datos reportados (39 de 40) están agrupados y sesgados a la izquierda, esto es, una concentración en frecuencias menores a 1500 pérdidas humanas.

El año 1999 realmente fue catastrófico en contraste con los demás valores presentados en los demás años, es decir, 4,752 se desvía realmente de un posible comportamiento estándar o normal de las pérdidas humanas históricas.

Selección de umbral: Se usan las funciones `mrplot` y `tcplot`.

Figura 3.18 Gráfico de vida residual y elección de umbral de pérdidas humanas por f.h.

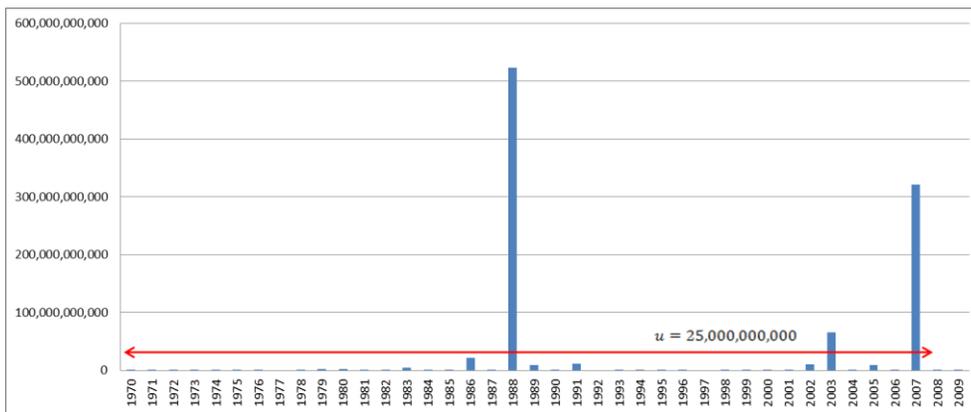


Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de fenómenos hidrometeorológicos y ocupando la función `mrlplot` y `tplot` en R.

f.h. : fenómenos hidrometeorológicos

El gráfico anterior muestra en la imagen de arriba en la parte izquierda, la representación de la vida residual usando la función `mrlplot` de R sin ninguna modificación en su escala; mostrando así, una tendencia al valor del umbral sin una precisión visual notable. Por su parte, el gráfico de la derecha, muestra una aproximación más detallada para la localización precisa de u . Entonces se determina que $u = 450$ es el umbral conveniente para el escenario de fenómenos hidrometeorológicos.

Figura 3.19 Diagrama de pérdidas humanas por f.h. con el umbral seleccionado



Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de fenómenos hidrometeorológicos y con el umbral seleccionado.

f.h. : fenómenos hidrometeorológicos

Se desprende que existen 11 datos que están por arriba del umbral, estos datos son: en el año 1973 con 1083 pérdidas humanas, 1974 con 1384, 1976 con 917, 1979 con 660, 1988 con 1141, 1990 con 1062, 1993 con 553, 1995 con 496, 1997 con 742, 1998 con 969 y finalmente en el año 1999 con 4752 pérdidas; de manera visual, son aquellos que se destacan por arriba de la línea color rojo.

Para la determinación de la frecuencia más alta se considera la suma de estos once valores máximos. Entonces, la frecuencia máxima es de 13,759 posibles pérdidas humanas por fenómenos hidrometeorológicos, la cual muestra una relación menor a 3 veces con respecto al máximo.

Ajuste de la distribución: El uso de la tabla de las pruebas Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling dan soporte de cuál es la mejor distribución que se ajusta a los datos.

Cuadro 3.7 Pruebas para definir la distribución de los datos de pérdidas humanas por f.h.

Frechet (3P)		Weibull		Weibull (3P)	
Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov	
Estadística	0.07	Estadística	0.13	Estadística	0.15
Valor P	0.97	Valor P	0.47	Valor P	0.29
Valor crítico	0.21	Valor crítico	0.21	Valor crítico	0.21
¿Rechazar?	No	¿Rechazar?	No	¿Rechazar?	No
Anderson-Darling		Anderson-Darling		Anderson-Darling	
Estadística	0.26	Estadística	1.30	Estadística	4.59
Valor crítico	2.50	Valor crítico	2.50	Valor crítico	2.50
¿Rechazar?	No	¿Rechazar?	No	¿Rechazar?	Si
Gumbel Max		GEV		DGP	
Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov	
Estadística	0.32	Estadística	0.10	Estadística	0.09
Valor P	0.00035	Valor P	0.80	Valor P	0.84
Valor crítico	0.21	Valor crítico	0.21	Valor crítico	0.21
¿Rechazar?	Si	¿Rechazar?	No	¿Rechazar?	No
Anderson-Darling		Anderson-Darling		Anderson-Darling	
Estadística	4.80	Estadística	0.50	Estadística	4.35
Valor crítico	2.50	Valor crítico	2.50	Valor crítico	2.50
¿Rechazar?	Si	¿Rechazar?	No	¿Rechazar?	Si

Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de fenómenos hidrometeorológicos y ocupando EasyFit y con valor crítico $\alpha = 0.05$.

f.h. : fenómenos hidrometeorológicos

La mejor distribución que se ajusta entre las dos Weibull, Frechet y Gumbel es la de Frechet con tres parámetros. El peor ajuste es la función de distribución Gumbel, debido a que se rechazan ambas pruebas. Asimismo, se muestra la aplicación de dichas pruebas a las distribuciones Generalizada del Valor Extremo (GEV) y Generalizada Pareto (DGP), para conocer si se rechazan o no.

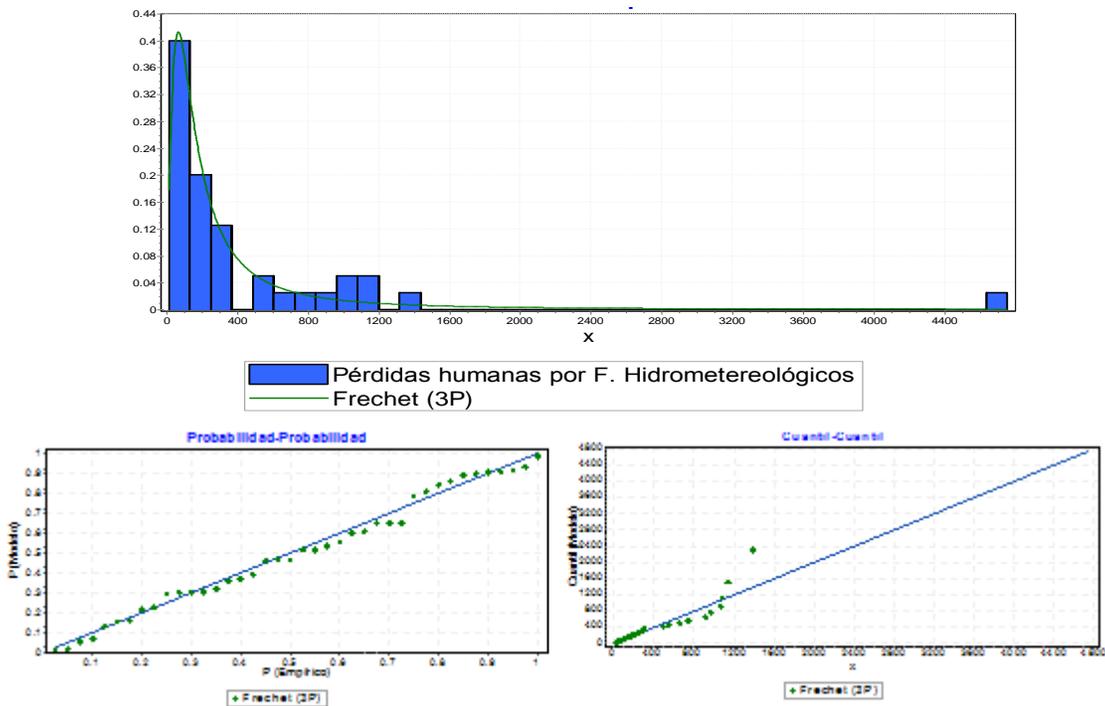
Cuadro 3.8 Parámetros de las distribuciones de pérdidas humanas por f.h.

Distribución	Parámetros		
	ξ - forma	μ - localización	σ - escala
Frechet	0.990	-	111.200
Frechet (3P)	1.245	- 37.280	170.330
Gen. Extreme Value	0.573	144.570	162.100
Gen. Pareto	0.493	218.470	17.460
Gumbel Max	-	94.500	613.800
Weibull	1.000	-	330.900
Weibull (3P)	0.715	17.000	352.800

Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de fenómenos hidrometeorológicos y ocupando EasyFit.
f.h.: fenómenos hidrometeorológicos

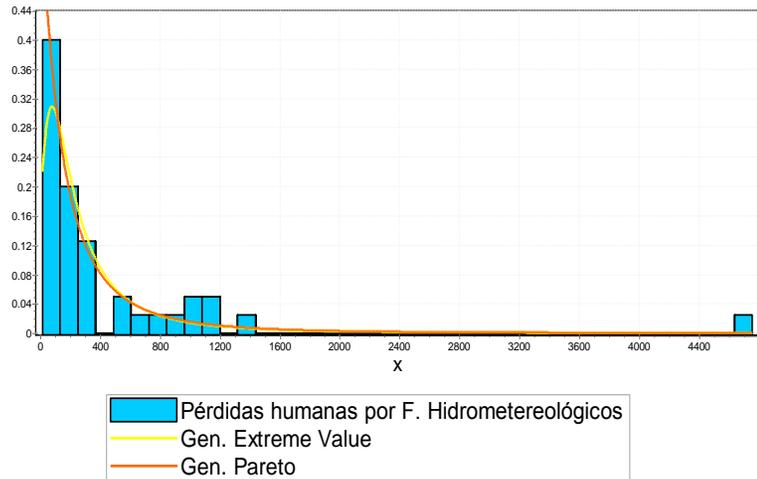
Se muestran los gráficos representativos de la mejor distribución incluyendo la distribución Generalizada del Valor Extremo (GEV) y Generalizada Pareto (DGP).

Figura 3.20 Función de densidad, gráfico *pp* y *qq* de pérdidas humanas por f.h.



Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de fenómenos hidrometeorológicos y ocupando EasyFit.
f.h.: fenómenos hidrometeorológicos

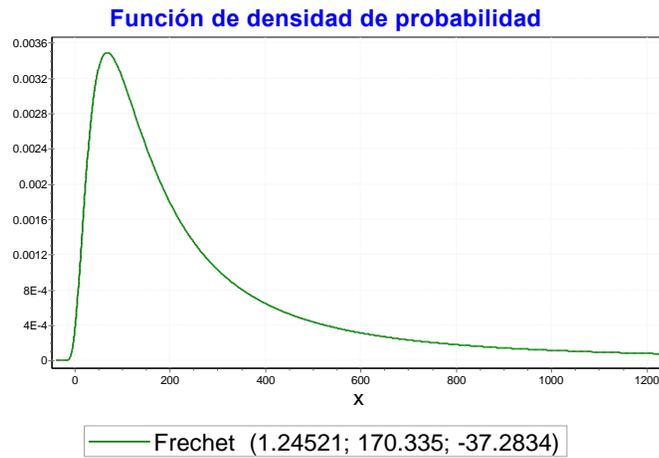
Figura 3.21 Distribución DGP y de pérdidas humanas por f.h.



Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de fenómenos hidrometereológicos y ocupando EasyFit.
f.h.: fenómenos hidrometereológicos

Se aprecia un mejor ajuste de la GEV que la Pareto. Se considera la función de distribución Frechet como la que mejor se ajustó a los datos de pérdidas humanas para la simulación.

Figura 3.22 Distribución que mejor se ajusta a los datos de pérdidas humanas por f.h.

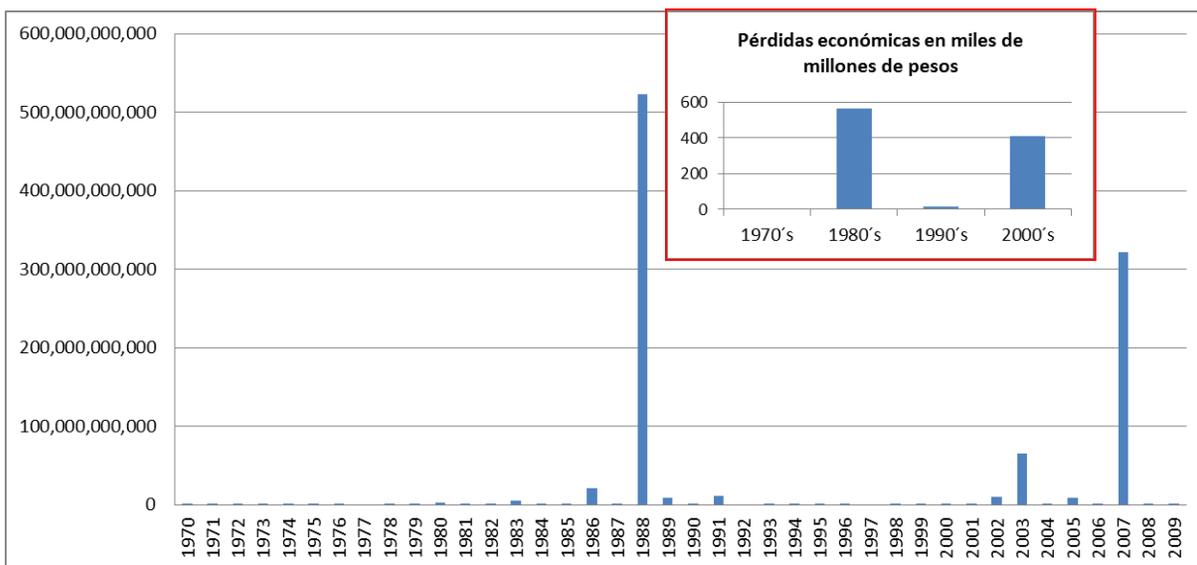


Fuente: Elaboración del autor a partir de los parámetros de la distribución que mejor se ajusta a la base de datos de fenómenos hidrometereológicos y ocupando StatAssist.
f.h.: fenómenos hidrometereológicos.

En el método de excesos por umbral se determinó una frecuencia máxima esperada de 13,759 y en el de ajuste de distribución 203,014 pérdidas humanas. Sin embargo, la lógica para el cálculo de la primera frecuencia fue razonable con respecto al comportamiento de los datos, se establece finalmente que la frecuencia máxima esperada en pérdidas humanas por sismos es de 13,759.

Segundo análisis exploratorio. Se procede a analizar las pérdidas económicas ocasionadas por los fenómenos hidrometeorológicos. Además, se presenta un gráfico acumulado por década con cifras en miles de millones de pesos, esto es 1970's, 1980's, 1990's y 2000's.

Figura 3.23 Pérdidas económicas por f.h. en México, de 1970 a 2009



Fuente: Elaboración del autor a partir de la página www.desinventar.net
 f.h.: fenómenos hidrometeorológicos

De la figura 3.23 se extraen algunas observaciones. La observación número uno es que sí existen eventos catastróficos con respecto a la mayoría de los datos y el año que encabeza estas catástrofes es 1988 con un monto superior a 500 mil millones de pesos (mmdp), seguida por el 2007 con un monto de 300 mmdp. La segunda observación se enfoca a la falta de apreciación de los montos registrados en la mayoría de los años diferentes a 1988, 2003 y 2007.

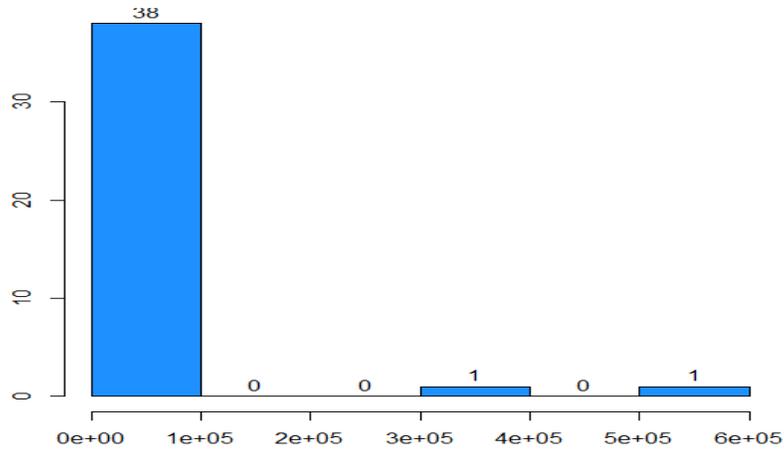
El objetivo es la determinación de los eventos catastróficos y asignarle una distribución que modele su comportamiento; sin embargo, también es necesario valorar la situación de los demás elementos que no son extremos.

Además se observa que los montos ocurridos en los años de 1970 a 1979 muestran un acumulado de \$ 3,057,270,000 representativamente muy pequeño con una escala de al menos 100 mmdp. La década de los 90's acumuló un monto de 13.6 mmdp y se muestra poco representativa en escala con respecto a los máximos de la serie de datos.

Entonces, se afirma que en 1980's y 2000's están presentes los eventos más significativos de los fenómenos hidrometeorológicos en México de 1970 hasta el 2009. Lo anterior permite mostrar un cuadro resumen de los principales estadísticos correspondientes a pérdidas económicas.

Figura 3.24 Estadísticos e histograma de pérdidas económicas por f.h.

Min	1° Cuartil	2° Cuartil	Mediana	Media	3° Cuartil	Máx.
-	127.6	128	241	24,690	1,925	522,745

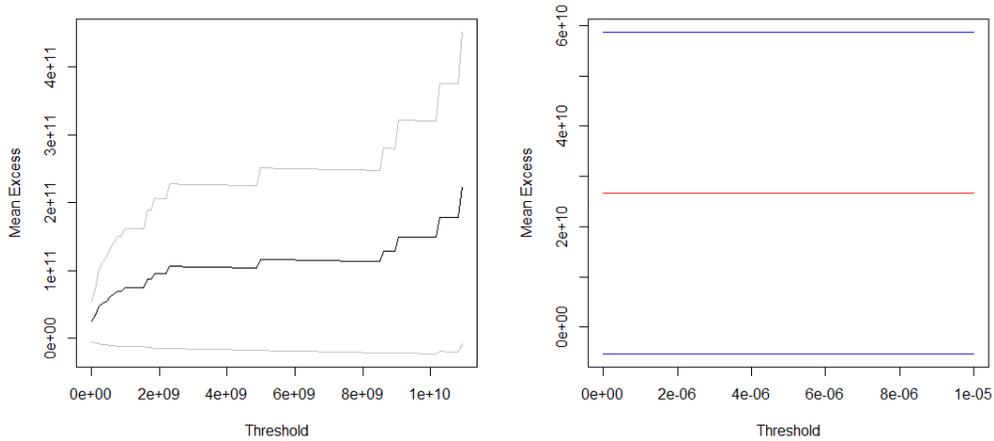


Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de fenómenos hidrometeorológicos, ocupando R y cifras en millones.

f.h.: fenómenos hidrometeorológicos

Selección de umbral: Para seleccionar el umbral que se ocupa la función y gráfica mrplot y tcplot.

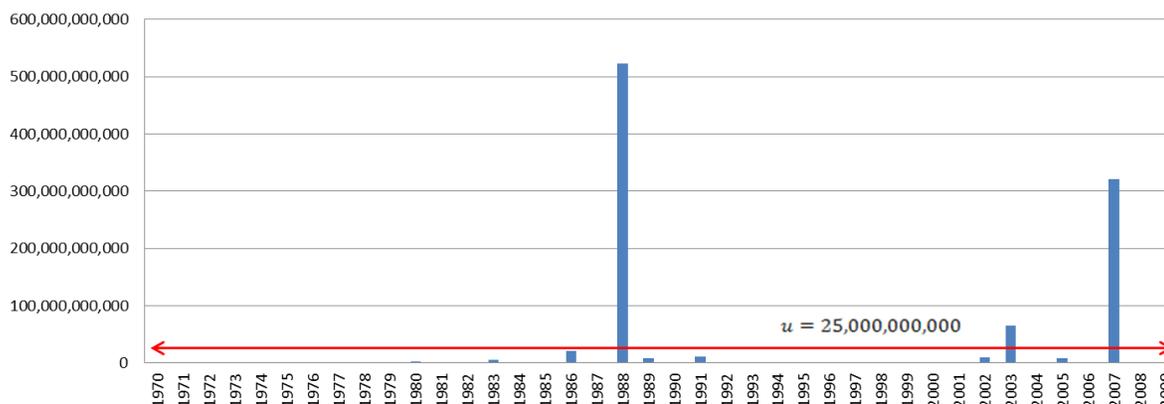
Figura 3.25 Vida residual de pérdidas económicas por fenómenos hidrometeorológicos



Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de fenómenos hidrometeorológicos y ocupando la función mrplot en R.

Usando la parte derecha del gráfico, se determina que $u = 25,000,000,000$ es el umbral conveniente para el modelo. Además, los únicos años que muestran estar por arriba del umbral $u = 25,000,000,000$ son 1988, 2003 y 2007.

Figura 3.26 Diagrama de pérdidas económicas por f.h. con el umbral seleccionado



Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de fenómenos hidrometeorológicos y con el umbral seleccionado. f.h.: fenómenos hidrometeorológicos

Ajuste de la distribución: Para esta sección se usará el programa EasyFit para conocer los parámetros de Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling.

Cuadro 3.9 Pruebas para definir la distribución de los datos de pérdidas económicas por f.h.

Frechet		Weibull		Weibull (3P)	
Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov	
Estadística	0.12	Estadística	0.18	Estadística	0.40
Valor P	0.57	Valor P	0.14	Valor P	0.000004
Valor crítico	0.21	Valor crítico	0.21	Valor crítico	0.21
¿Rechazar?	Sí	¿Rechazar?	No	¿Rechazar?	Sí
Anderson-Darling		Anderson-Darling		Anderson-Darling	
Estadística	5.64	Estadística	5.99	Estadística	14.96
Valor crítico	2.50	Valor crítico	2.50	Valor crítico	2.50
¿Rechazar?	Sí	¿Rechazar?	Sí	¿Rechazar?	Sí
Gumbel Max		GEV		DGP	
Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov	
Estadística	0.46	Estadística	0.26	Estadística	0.28
Valor P	0.00	Valor P	0.01	Valor P	0.00
Valor crítico	0.21	Valor crítico	0.21	Valor crítico	0.21
¿Rechazar?	Sí	¿Rechazar?	Sí	¿Rechazar?	Sí
Anderson-Darling		Anderson-Darling		Anderson-Darling	
Estadística	11.38	Estadística	4.36	Estadística	4.17
Valor crítico	2.50	Valor crítico	2.50	Valor crítico	2.50
¿Rechazar?	Sí	¿Rechazar?	Sí	¿Rechazar?	Sí

Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de fenómenos hidrometeorológicos y ocupando EasyFit y con valor crítico $\alpha = 0.05$. f.h.: fenómenos hidrometeorológicos

Se aprecia el rechazo de la mayoría de las funciones de distribución extremas y de las GEV y DGP bajo las pruebas Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling.

No existe realmente una función que describa de manera precisa el comportamiento de las pérdidas económicas; pese a esto, la que posee mejor calificación respecto a los estadísticos de las pruebas con respecto a las demás funciones es la función Frechet, por esta razón se considera como la distribución de mejor ajuste a los datos de pérdidas económicas por fenómenos hidrometeorológicos.

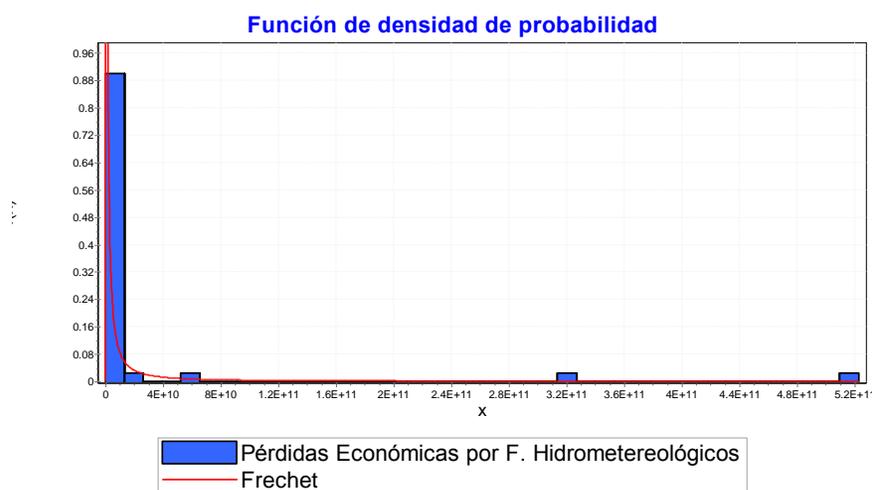
Cuadro 3.10 Parámetros de las distribuciones de pérdidas económicas por f.h.

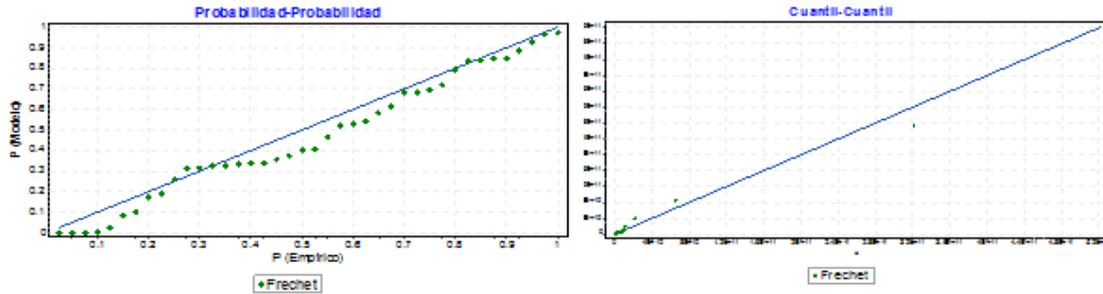
Distribución	Parámetros		
	ξ - forma	μ - localización	σ - escala
Frechet	0.450	-	192,612,000
Gen. Extreme Value	0.917	550,984,000	2,099,530,000
Gen. Pareto	0.911	2,274,740,000	- 871,275,000
Gumbel Max	-	- 18,375,900,000	74,613,500,000
Weibull (3P)	1.000	2,619,290,000	0.344

Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de fenómenos hidrometeorológicos y ocupando EasyFit.
f.h.: fenómenos hidrometeorológicos

Se muestra la función de densidad de Frechet por ser la que mejor se ajusta de las distribuciones, el gráfico pp (probabilidad-probabilidad) y qq (cuantil-cuantil), adicionalmente con la distribución Generalizada del Valor Extremo (GEV) y Generalizada Pareto (DGP).

Figura 3.27 Función de densidad, gráfico pp y qq de pérdidas económicas por f.h.

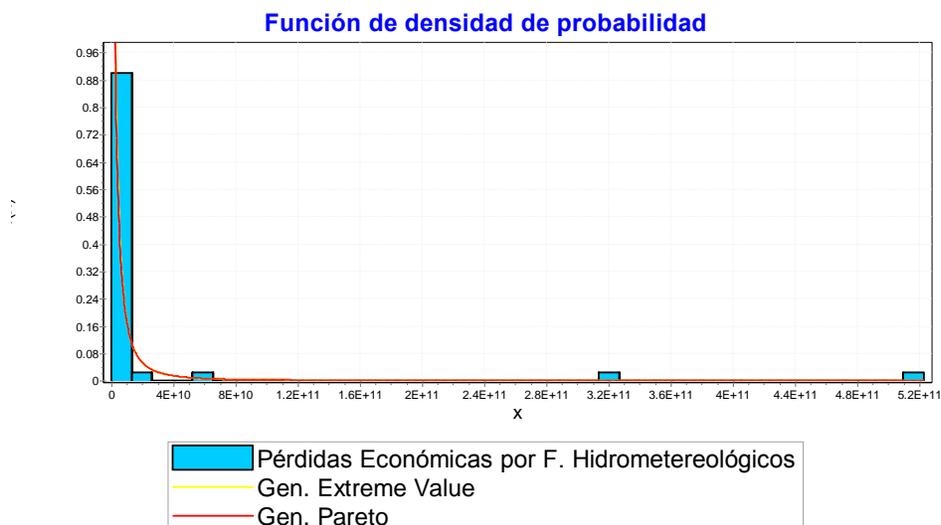




Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de fenómenos hidrometeorológicos y ocupando EasyFit.
f.h.: fenómenos hidrometeorológicos

El gráfico de probabilidades muestra una mejor relación entre las dos funciones que se están analizando, sin embargo, aunque la distribución Frechet fue la que mejor se ajusta a los datos de pérdidas económicas por fenómenos hidrometeorológicos, el gráfico de cuantil no muestra una relación tan estrecha entre la distribución empírica y la distribución teórica.

Figura 3.28 Distribución DGP y GEV de pérdidas económicas por f.h.

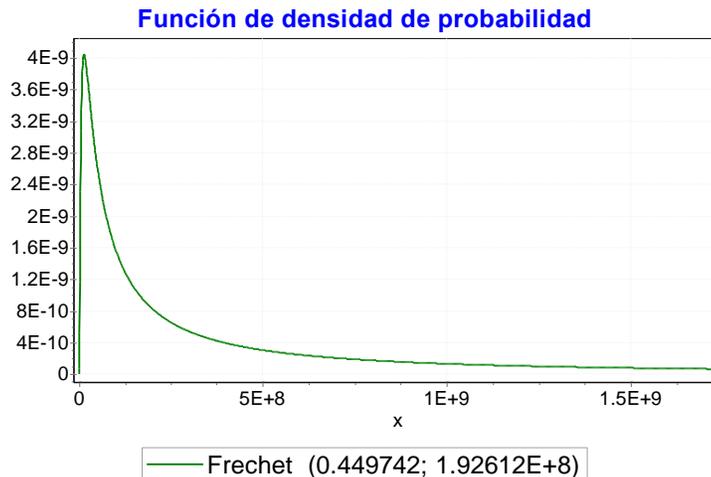


Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de fenómenos hidrometeorológicos y ocupando EasyFit.
f.h.: fenómenos hidrometeorológicos

Se hace una simulación a partir de la función de distribución Frechet a través de los parámetros estimados de ésta distribución y mostrando su función de densidad de probabilidad.

La simulación se lleva a cabo por StatAssist y el número de simulaciones son 10,000, para después calcular la severidad máxima probable para pérdidas económicas.

Figura 3.29 Distribución que mejor se ajusta a los datos de pérdidas económicas por f.h.



Fuente: Elaboración del autor a partir de los parámetros de la distribución que mejor se ajusta a la base de datos de fenómenos hidrometeorológicos y ocupando StatAssist.

f.h.: fenómenos hidrometeorológicos

De la simulación se obtiene que la pérdida máxima probable es: \$ 709,216,544,103. Este monto con respecto a la pérdida máxima reportada en la base (1998 con mas de 522 mmdp) guarda una relación de 1.35 veces, por lo tanto, la pérdida máxima probable obtenida es coherente con la base de datos.

3.6.3 Escenario incendio

Primer Análisis exploratorio. El proceso para este último escenario de incendio es similar a los anteriores. Se exponen los datos obtenidos en *Desinventar*.

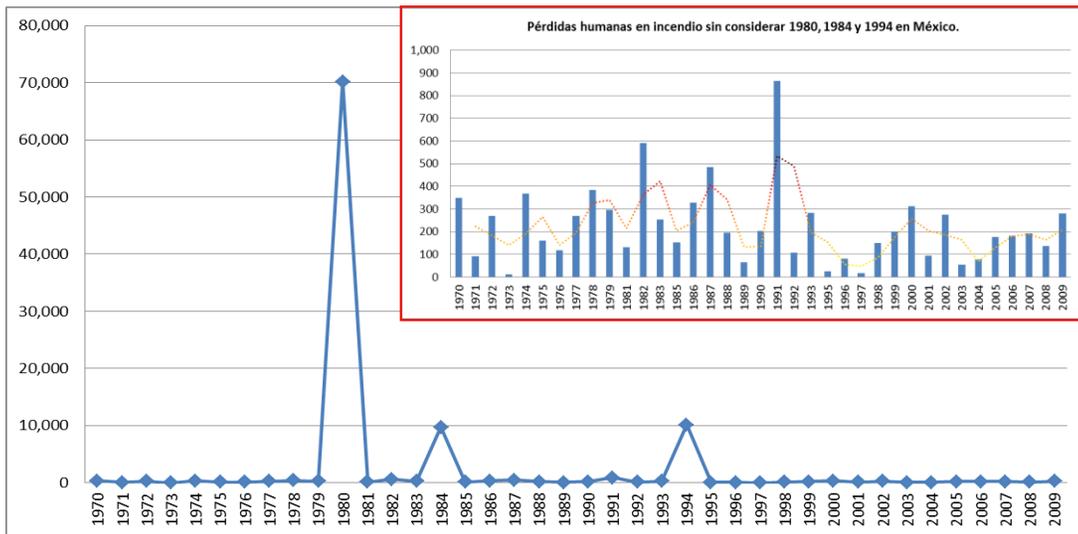
Cuadro 3.11 Datos para escenario de incendio en México, de 1970 a 2009

Año	Pérdidas humanas	Pérdidas económicas	Año	Pérdidas humanas	Pérdidas económicas
1970	349	8,389,000	1991	864	18,916,000
1971	93	103,553,000	1992	109	-
1972	271	517,540,000	1993	282	184,650,000
1973	11	1,555,750,000	1994	10,171	250,073,041
1974	368	2,139,406,500	1995	26	68,000,000
1975	160	34,279,500	1996	82	60,000,000
1976	119	694,380,000	1997	17	2,000,000
1977	269	389,372,000	1998	149	150,000,000
1978	384	5,041,901,000	1999	202	2,211,000,000
1979	295	5,676,935,000	2000	312	759,600,000
1980	70,204	1,161,650,000	2001	95	23,030,000
1981	132	403,400,000	2002	274	13,038,000
1982	591	521,983,000	2003	55	806,000,000
1983	254	2,754,070,000	2004	79	1,608,000,000
1984	9,719	4,377,500,000	2005	177	1,473,200,000
1985	152	153,181,000	2006	182	1,150,000
1986	328	8,634,000,000	2007	192	-
1987	485	4,579,000,000	2008	138	104,000,000
1988	196	10,180,000,000	2009	280	8,000,000
1989	66	10,550,000,000			
1990	204	380,000,000			

Fuente: Elaboración del autor a partir de la página www.desinventar.net

En el primer análisis se ocupa los datos de pérdidas humanas y se muestra el comportamiento gráfico.

Figura 3.30 Pérdidas humanas en incendio



Fuente: Elaboración del autor a partir de la página www.desinventar.net

De la figura anterior se resaltan únicamente tres picos; sin embargo, el más notorio es el ocurrido en 1980 con un de 70,204 pérdidas humanas. Se nota que en las décadas 70's y 80's, el número de pérdidas humanas es superior a las otras dos décadas. Esta interpretación cuenta con sustento relacionado a las acciones que construyeron y se llevaron a cabo por parte de la FRA³⁰ y FAO³¹.

La FRA en el 2000 inicia una evaluación mundial sobre incendios para los años posteriores a 1990. Por su parte, la FAO solicita a los países miembros que complementar el perfil de manejo de incendios del país; en este proceso, los elaboradores de políticas comenzaron a darse cuenta en la importancia de la prevención de incendios. Y es así con apoyo de los programas de respuesta y preparación para las situaciones de emergencia, se disminuyó los daños en incendio.

Figura 3.31 Estadísticos e histograma de pérdidas humanas por incendio

<i>Min</i>	<i>1° Cuartil</i>	<i>2° Cuartil</i>	<i>Mediana</i>	<i>Media</i>	<i>3° Cuartil</i>	<i>Máx.</i>
11	116	117	199	2,458	316	70,204

³⁰ Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales

³¹ Food and Agriculture Organization of the United Nations. En español es Organización para la Agricultura y la Alimentación perteneciente a las Naciones Unidas.

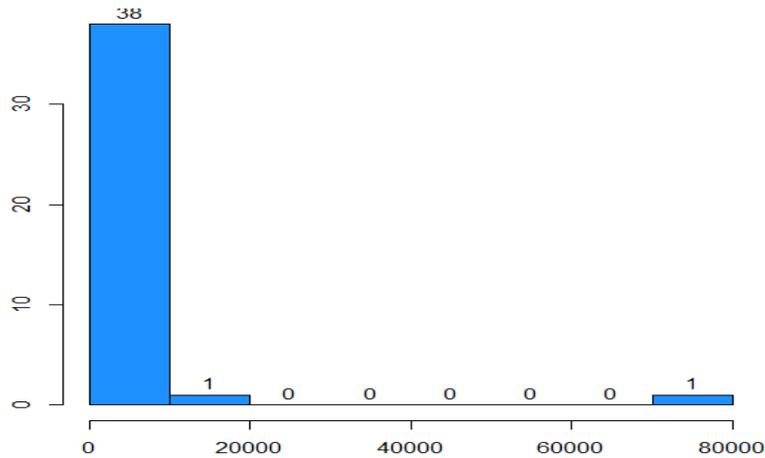
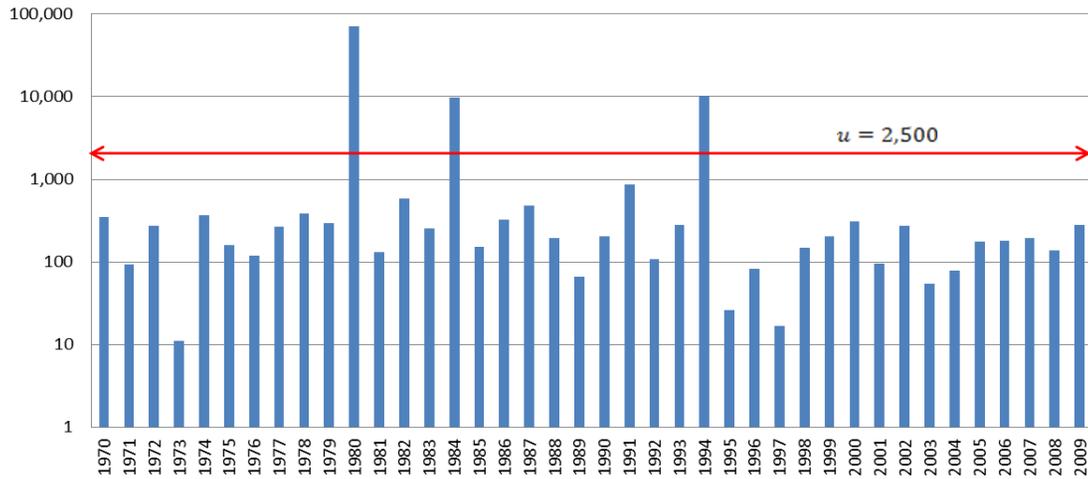


Figura 3.33 Diagrama de pérdidas humanas por incendio con umbral seleccionado



Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de incendio y con el umbral seleccionado.

Ajuste de la distribución: Las pruebas Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling ayudan a definir cuál es la distribución que se ajusta a los datos por lo que el cuadro 3.12 muestra un resumen.

Cuadro 3.12 Pruebas para definir la distribución de los datos de pérdidas humanas por incendio

Frechet (3P)		Weibull		Weibull (3P)	
Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov	
Estadística	0.16	Estadística	0.22	Estadística	0.26
Valor P	0.25	Valor P	0.03	Valor P	0.01
Valor crítico	0.21	Valor crítico	0.21	Valor crítico	0.21
¿Rechazar?	No	¿Rechazar?	Si	¿Rechazar?	Si
Anderson-Darling		Anderson-Darling		Anderson-Darling	
Estadística	1.09	Estadística	5.93	Estadística	8.51
Valor crítico	2.50	Valor crítico	2.50	Valor crítico	2.50
¿Rechazar?	No	¿Rechazar?	Si	¿Rechazar?	Si
Gumbel Max		GEV		DGP	
Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov	
Estadística	0.47	Estadística	0.16	Estadística	0.16
Valor P	-	Valor P	0.23	Valor P	0.25
Valor crítico	0.21	Valor crítico	0.21	Valor crítico	0.21
¿Rechazar?	Si	¿Rechazar?	No	¿Rechazar?	No
Anderson-Darling		Anderson-Darling		Anderson-Darling	
Estadística	12.11	Estadística	1.14	Estadística	12.16
Valor crítico	2.50	Valor crítico	2.50	Valor crítico	2.50
¿Rechazar?	Si	¿Rechazar?	No	¿Rechazar?	Si

Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de incendio y ocupando EasyFit y con valor crítico $\alpha = 0.05$.

La mejor distribución es la de Frechet con tres parámetros de acuerdo a las pruebas K-S y A-D. La que menos se ajusta es Gumbel, pues se rechazan ambas pruebas.

Easyfit brinda el apoyo para obtener los parámetros de las funciones de distribución.

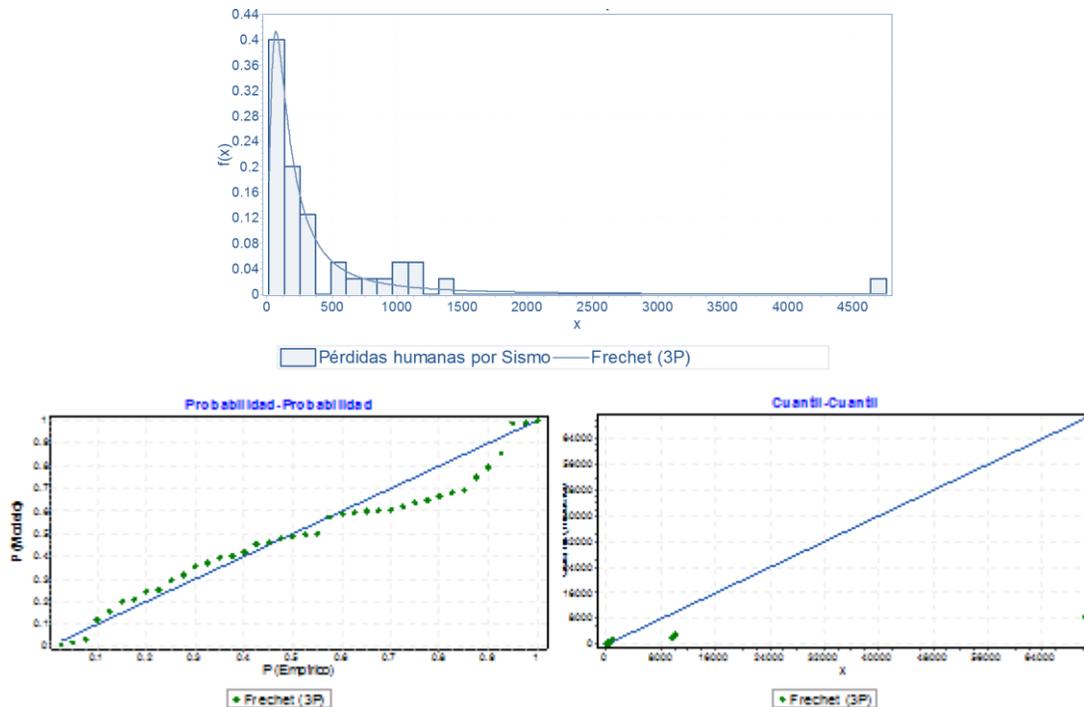
Cuadro 3.13 Parámetros de las distribuciones de pérdidas humanas por incendio

Distribución	Parámetros		
	ξ - forma	μ - localización	σ - escala
Frechet (3P)	1.11	- 31.10	169.00
Gen. Extreme Value	0.94	134.40	151.80
Gen. Pareto	0.93	163.05	32.30
Gumbel Max	-	2,579.86	8,728.50
Weibull	0.81	-	393.02
Weibull (3P)	0.40	11.00	396.20

Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de incendios y ocupando EasyFit.

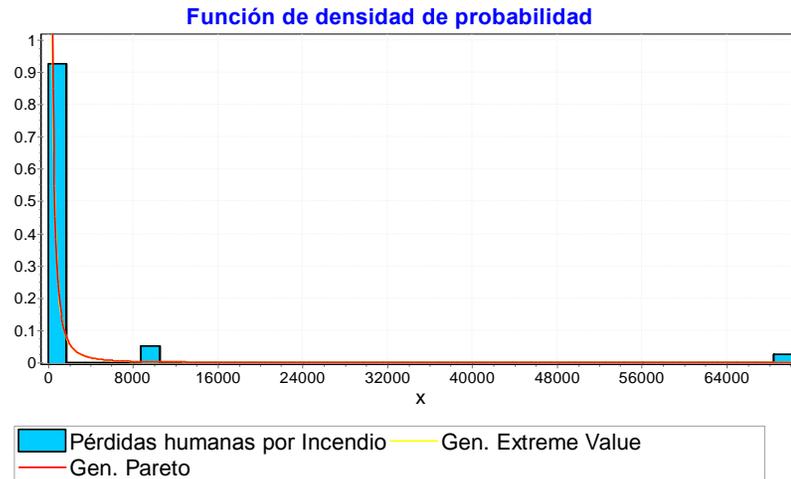
Se muestran los gráficos representativos de la función Frechet, además la distribución GEV y DGP.

Figura 3.34 Función de densidad, gráfico *pp* y *qq* de pérdidas humanas por incendio



Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de incendio y ocupando EasyFit.

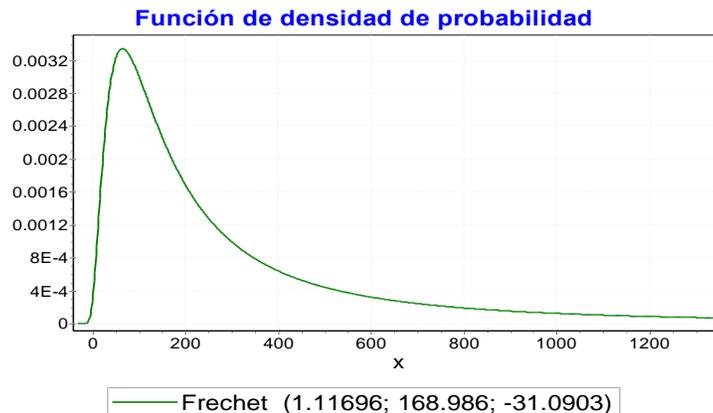
Figura 3.35 DGP y GEV de pérdidas humanas por incendio.



Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de incendio y ocupando EasyFit.

Para la simulación, se considera la función de distribución Frechet (3P) la cual muestra mejor apego a los datos de pérdidas humanas respecto a fenómenos hidrometeorológicos.

Figura 3.36 Distribución que mejor se ajusta a los datos de pérdidas humanas por incendio

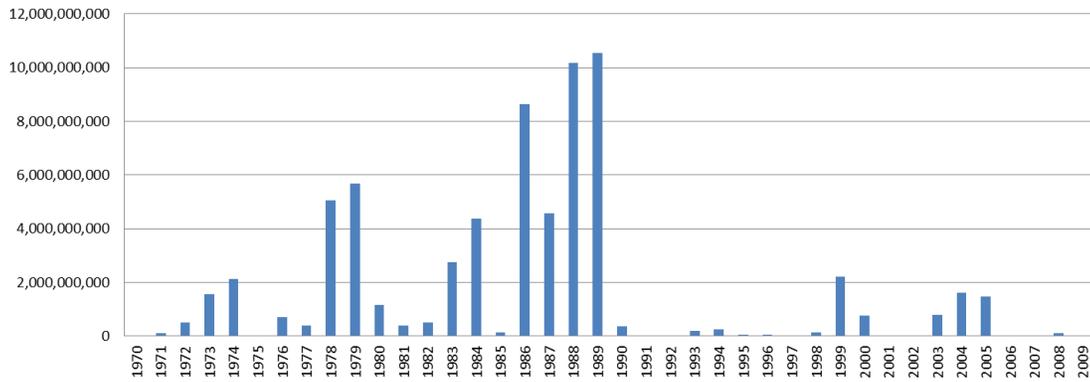


Fuente: Elaboración del autor a partir de los parámetros de la distribución que mejor se ajusta a la base de datos de incendio y ocupando StatAssist.

Se determina que la pérdida máxima probable es de 80,330 pérdidas humanas, lo que representa aproximadamente 1.14 veces más comparado al máximo de la base de datos.

Segundo análisis exploratorio. Se analizan las pérdidas económicas por medio de su representación.

Figura 3.37 Pérdidas económicas por incendio en México, de 1970 a 2009

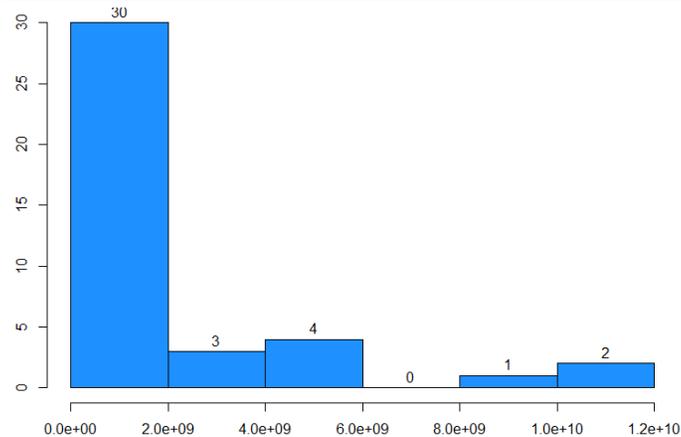


Fuente: Elaboración del autor a partir de la página www.desinventar.net

Después de 1990, se reduce drásticamente el efecto de los incendios en México por las medidas que se llevaron a cabo gracias a la FAO y FRA. Se puede mostrar un gráfico con agrupaciones por década, sin embargo, será claro que las primeras dos décadas serán las que tengan montos representativos y, los dos bloques restantes, serán casi nulos ante la comparación, por lo tanto, se evitará este gráfico por la falta de resultados importantes para el análisis.

Figura 3.38 Estadísticos e histograma de pérdidas económicas por incendio

Min	1° Cuartil	2° Cuartil	Mediana	Media	3° Cuartil	Máx.
-	53	54	396	1,690	1,741	10,550

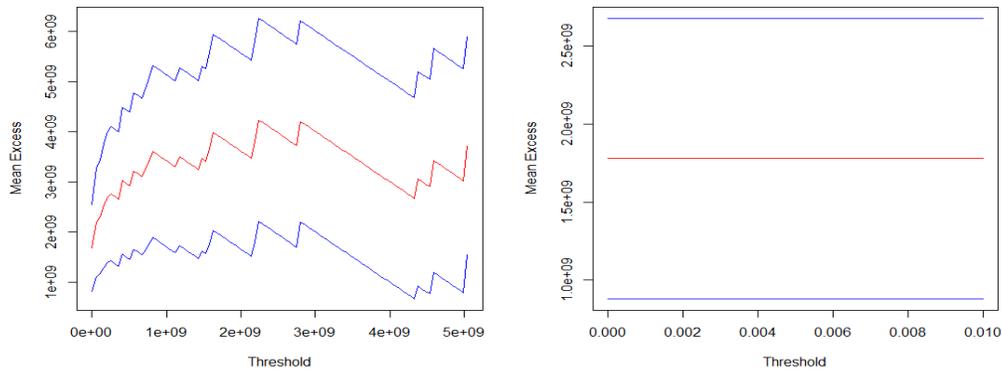


Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de incendio, las cifras están en millones.

La mayoría de los datos está por debajo de 1,741 (millones), lo que en la práctica es 30 de los 40 (75%) datos de la tabla inicial de este escenario.

Selección de umbral: Para seleccionar el umbral se recurre nuevamente a usar la función y gráfica `mrlplot` implementada en R en el paquete POT.

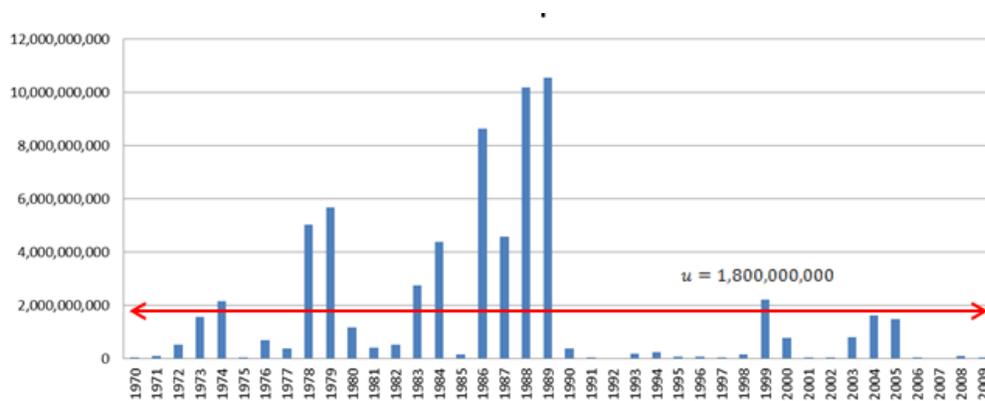
Figura 3.39 Vida residual de pérdidas económicas por incendio



Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de incendio y ocupando la función `mrlplot` en R.

Con la parte derecha del gráfico, se determina que $u = 1,800,000,000$ es el umbral conveniente.

Figura 3.40 Diagrama de pérdidas económicas por incendio con el umbral seleccionado



Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de incendio y con el umbral seleccionado.

Se muestra que la mayoría de los valores que están por arriba del umbral definido son años menores a 1989, esto es, la década de los 70's y 80's, únicamente un valor de la década posterior a ésta última mencionada, está por arriba de $u = 1,800,000,000$; el monto de 1999 es de \$ 2,211,000,000.

De forma más específica, éstos montos que superan el umbral están considerados de la siguiente manera, en el año 1974 con 2139.4 millones, 1978 con 5041.9 millones, 1979 con 5676.9 millones, 1983 con 2754.07 millones, 1984 con 4377.5 millones, 1986 con 8634 millones, 1987 con 4579 millones, 1988 con 10180 millones, 1989 con 10550 millones, 1999 con 2211 millones.

Ajuste de la distribución: Para definir cuál es la distribución que mejor se ajusta se ocupa el programa EasyFit mediante las pruebas Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling.

Cuadro 3.14 Pruebas para definir la distribución de pérdidas económicas por incendio

Weibull		Frechet (3P)		Gumbel Max	
Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov	
Estadística	0.09	Estadística	0.14	Estadística	0.29
Valor P	0.85	Valor P	0.37	Valor P	-
Valor crítico	0.21	Valor crítico	0.21	Valor crítico	0.21
¿Rechazar?	No	¿Rechazar?	No	¿Rechazar?	Si
Anderson-Darling		Anderson-Darling		Anderson-Darling	
Estadística	3.85	Estadística	4.95	Estadística	3.98
Valor crítico	2.50	Valor crítico	2.50	Valor crítico	2.50
¿Rechazar?	Si	¿Rechazar?	Si	¿Rechazar?	Si
Weibull (3P)		GEV		DGP	
Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov		Kolmogorov-Smirnov	
Estadística	0.38	Estadística	0.18	Estadística	0.20
Valor P	-	Valor P	0.15	Valor P	0.07
Valor crítico	0.21	Valor crítico	0.21	Valor crítico	0.21
¿Rechazar?	Si	¿Rechazar?	No	¿Rechazar?	No
Anderson-Darling		Anderson-Darling		Anderson-Darling	
Estadística	12.58	Estadística	1.73	Estadística	1.47
Valor crítico	2.50	Valor crítico	2.50	Valor crítico	2.50
¿Rechazar?	Si	¿Rechazar?	No	¿Rechazar?	No

Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de incendio y ocupando EasyFit y con valor crítico $\alpha = 0.05$.

Se nota que se rechaza a la mayoría de las distribuciones a través de dichas pruebas. Sin embargo, la que posee mejor ajuste de acuerdo a estas pruebas realizadas es con la función Weibull.

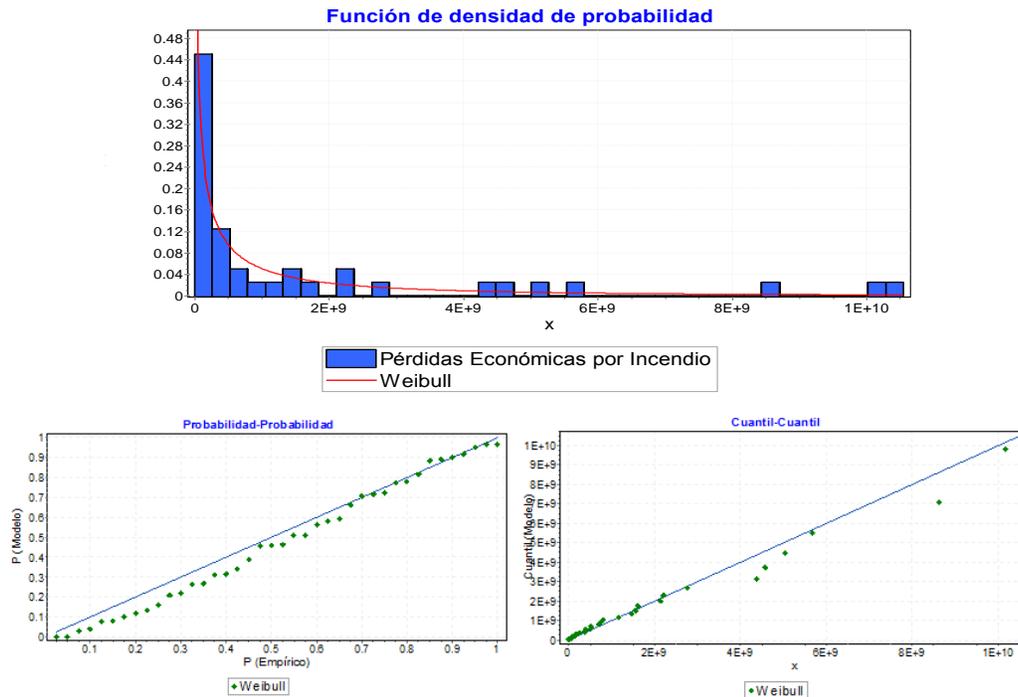
Cuadro 3.15 Parámetros de las distribuciones de pérdidas económicas por incendio

Distribución	Parámetros		
	ξ - forma	μ - localización	σ - escala
Frechet	0.119	-	690,233
Gen. Extreme Value	0.540	362,819,000	760,042,000
Gen. Pareto	0.450	1,045,820,000	- 240,970,000
Gumbel Max	-	438,617,000	2,167,830,000
Weibull	-	991,150,000	0.510

Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de incendio y ocupando EasyFit.

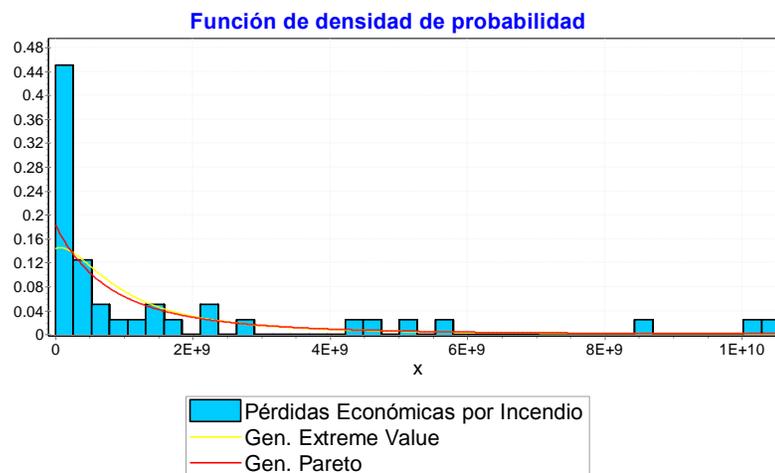
Se muestra la función de densidad de probabilidad de Weibull la cual es la que mejor se ajusta de las distribuciones, el gráfico pp (probabilidad-probabilidad) y qq (cuantil-cuantil), adicionalmente con la distribución Generalizada del Valor Extremo y Generalizada Pareto.

Figura 3.41 Función de densidad, gráfico pp y qq de pérdidas económicas por incendio



Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de incendio y ocupando EasyFit.

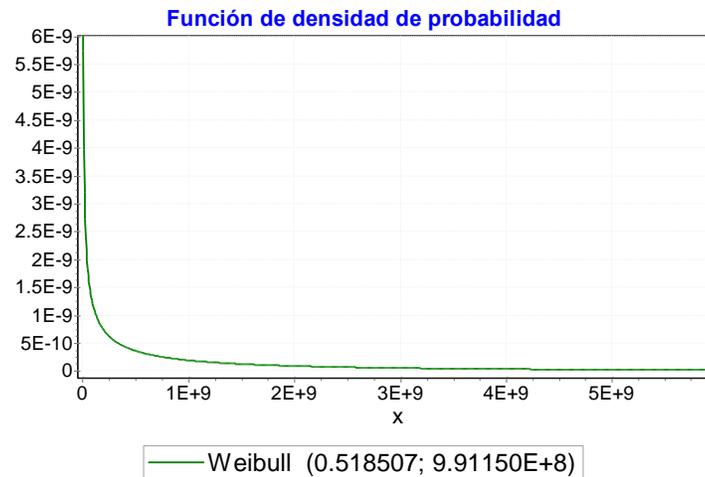
Figura 3.42 Distribución DGP y GEV de pérdidas económicas por incendio



Fuente: Elaboración del autor a partir de la base de datos de incendio y ocupando EasyFit.

Dado que se establece el modelo de umbral, se procede a la simulación ocupando StatAssist.

Figura 3.43 Distribución que mejor se ajusta a los datos de pérdidas económicas por incendio



Fuente: Elaboración del autor a partir de los parámetros de la distribución que mejor se ajusta a la base de datos de incendio y ocupando StatAssist.

Entonces, se obtuvo la severidad máxima probable respecto a las posibles quebrantos por incendio de acuerdo a la simulación es: \$ 63,632,653,898 en pérdidas económicas.

Finalmente, si se inspecciona esta severidad máxima probable con respecto al total de las 10 pérdidas económicas que exceden el umbral, guarda una relación de 113%. Amortiguando de manera adecuada, futuras catástrofes.

Conclusiones

El ser humano es un observador nato de su entorno y en el proceso de comprenderlo es como emprende el camino a la construcción modelos matemáticos que describan, de la mejor manera posible, los fenómenos que observa. Y es aquí cuando entra la probabilidad a aclarar estos problemas y comienza a desarrollar teoría sobre comportamientos de los eventos aleatorios.

Un evento de este tipo se caracteriza por la incertidumbre de qué resultado exacto terminará saliendo. El ejemplo más simple: el lanzamiento de una moneda. Se sabe que puede caer sol ó águila, pero sin estar al tanto todos los demás factores que influyeron para el resultado, la definición con certeza del resultado lo convierte en aleatorio.

El enfoque de esta tesis está en el tratamiento de los eventos catastróficos, siendo éstos el sujeto principal en cada sección de la misma. Este tipo de eventos, son uno de tantos casos de los eventos aleatorios. Uno de los objetivos buscados en la realización de este trabajo es mostrar la relación que existe entre fenómeno natural, evento catastrófico y valores extremos.

Un evento catastrófico posee características similares a las de un fenómeno natural. Este último, se presenta como aquella reacción que tiene la Tierra debido a su proceso de evolución. Sin embargo, el evento catastrófico ya posee características exageradas, frecuencias y severidades muy significativas, estos valores están definidos como valores extremos por su alejamiento gigantesco de las situaciones promedio. Este tipo de eventos que, en el caso de esta tesis, se consideró como el principal responsable de pérdidas de vidas humanas, daños materiales y pérdidas económicas, afectando directamente la capacidad de México.

Otro objetivo de la tesis fue mostrar las características, causas y efectos de un evento catastrófico para que después de esto, revelar claramente que cada variable aleatoria, puesta en cada escenario de simulación representa directamente una pérdida. Asimismo, se ocupó el análisis extraído del comportamiento gráfico de los datos para ajustarle alguna de las funciones de distribución extremas ó indicar a partir de que valor, los datos se consideran como un peligro que pasó la sociedad del país; es decir, el modelo de excesos sobre un umbral.

En el desarrollo práctico de la tesis, se ejecutaron 3 escenarios para analizar su comportamiento, estos fueron sismo, fenómenos hidrometeorológicos e incendio.

Los resultados obtenidos son los siguientes.

Para el escenario de sismo, se aprecia el siniestro ocurrido en 1985, donde, por parte de pérdidas humanas, alcanzó un registro máximo en el periodo de tiempo analizado de 52,911. Como para cada escenario, se dio pauta al modelo de excesos por umbral que, en este caso, se definió $u = 550$ y

resultó que los años: 1973, 1980, 1985 y 1999 presentaron pérdidas superiores al umbral definido. Este resultado muestra que en la mayoría de los sismos que han ocurrido en el país, no superan las 550 por lo que se estableció como pérdida máxima probable de 54,814 pérdidas humanas, bajo una simulación de la función de distribución Gumbel la cual mostró un mejor apego a la tendencia de estos valores.

Para el segundo análisis de sismos respecto a pérdidas económicas, sigue mostrándose 1985 como el principal evento catastrófico que se ha presentado en México, cuya severidad reportada fue de \$570 millones, pero también los años 1973 con \$250 millones y 1999 con \$283.8 millones no se quedan atrás en este análisis. La determinación del umbral, para el método de excesos sobre un determinado valor, conllevó a obtener $u = \$ 200$ millones. Para encontrar una función de distribución que describiera de la mejor manera el comportamiento de las pérdidas económicas en sismo fue difícil, puesto que en la mayoría de las funciones Weibull, Weibull (3P), Frechet (3P) y Gumbel Max, se rechazan las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling; sin embargo, la que tuvo mejor ajuste de todas fue nuevamente Gumbel y, realizando las 10,000 simulaciones, se obtuvo una la severidad máxima probable de \$ 1,793,647,906.

En el primer análisis de los fenómenos hidrometeorológicos, se muestra muy notoria la catástrofe ocurrida en 1999, la cual presenta a 4,752 pérdidas humanas; de manera más detallada. En el método de umbral se utilizó $u = 450$, dejando a la intemperie a 11 datos. Después de realizar lo anterior, se seleccionó a la función de distribución Fréchet (3P) por su ajuste razonable a los datos, dado el criterio de las pruebas, y con ella se efectuó la simulación dando como resultado 203,014 pérdidas humanas, pero el número calculado con la simulación no se consideró como la pérdida máxima probable, puesto que la calculada mediante el método de excesos por umbral determinó una frecuencia máxima esperada de 13,759 y fue más razonable.

En la base de datos perteneciente a pérdidas económicas por fenómenos hidrometeorológicos y el año que encabezó estas catástrofes es 1988 con un monto superior a 500 mil millones de pesos (mmdp). De esta base, se determinó que $u = 25$ mmdp es el umbral que puede describir a los máximos de la base, quedando por arriba del umbral únicamente 3 valores. Con la simulación realizada con Frechet se obtuvo una pérdida máxima probable de \$ 709,216,544,103 en pérdidas económicas.

Para el escenario de incendio, el dato máximo se muestra en 1980 mostrando un registro de 70,204 pérdidas humanas, pero este dato no se queda solo con un umbral $u = 2,500$, puesto que lo acompañan dos años más que están por arriba del umbral. Aplicando las pruebas Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling se determinó que la función que mejor se ajusta a los datos es la Frechet (3P) y con los parámetros de la misma, se obtuvo la simulación la cual expuso una pérdida máxima probable de 80,330 pérdidas humanas.

Finalmente, en el segundo análisis de incendio, la mayoría de los datos está por debajo de 1,741 millones, en el modelo de excesos sobre un umbral, se definió a $u = 1,800,000,000$; después de mostrar que varios años de las décadas 70's y 80's están por arriba del umbral; se presenta a Weibull como la mejor función de distribución que describe el comportamiento de los datos, y de los parámetros que se obtuvieron de ella, se define como la pérdida máxima probable igual a \$ 63,632,653,898 en pérdidas económicas.

Es importante también mencionar que en las dos secciones de los tres escenarios, se muestra la función de densidad de las funciones GEV y GDP para revisar la relación que guarda con el comportamiento de los valores de cada contexto.

Se señala que las desviaciones de los fenómenos naturales provoca de manera directa la definición y creación de evento catastrófico y, este, siempre llevará consigo máximos: valores que superan el comportamiento natural y normal del registro histórico de cada fenómeno. Se mostró que aplicando la Teoría de Valores Extremos, con su análisis, aplicación de modelos excedentes sobre un determinado valor y el ajuste de distribuciones, se puede determinar la conducta de todos los valores de un explícito lapso de tiempo. Se debe señalar que los máximos existentes en cada una de las bases analizadas, provocan que la función de distribución tenga un comportamiento específico gracias a cómo están éstos en la cola de la función; es por esta razón que no a todos los escenarios anteriores se les puede ajustar la misma función de distribución puesto que la caída o tendencia de las colas es diferente en cada escenario.

Finalmente, después de encontrar la función de distribución que describiera el comportamiento más real de los datos, se procedió a considerar los parámetros obtenidos usando el programa EasyFit para que de manera consiguiente se determinara un elemento importante en todo este análisis. Poder determinar la pérdida máxima probable que puede ocurrir en el país es el elemento clave en cada escenario para así, indicar cuál es el monto o frecuencia más alta que se puede esperar dado un fenómeno natural.

Bibliografía

1. Álvarez, Victor Adrián. "Teoría de Valores Extremos (EVT) y grandes crisis financieras. Mercados emergentes vs. Desarrollados". Universidad de San Andrés. 2010.
2. Aranda, Gallego Joaquín. "Una aplicación de la teoría de valores extremos al cálculo del valor en riesgo". Oviedo, España. 2004.
3. Beirlant, J.; Teugels J.L. "Practical Analysis of Extreme Values". Leuven University, Leuven. 1996.
4. Bessia, Federico. "La Teoría de Los Eventos Extremos, Aplicación Para Evaluación De Riesgos". Facultad De Ciencias Económicas. 2005.
5. Breña, Puyol Agustín Felipe. BREÑA, Naranjo José Agustín. "Frecuencia De Valores Extremos En Hidrología". Universidad De Colima. 2005.
6. Cardozo, Pamela. "Valor en riesgo de los activos financieros colombianos aplicando la teoría de valor extremo". Tesis de Maestría. Universidad de los Andes. Julio de 2004.
7. Casparri, María Teresa. "La Complementariedad De Los Seguros Y Los Derivados En El Mercado De Eventos Catastróficos Bajo Intervención Estatal". RIIDES. 2010.
8. CENAPRED. "Ciclones tropicales". México. 2007.
9. CENAPRED. "Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México". México. 2001.
10. CENAPRED. "Fascículo. Sismos". México. 2008.
11. CENAPRED. "Fascículo. Tsunamis". México. 2005.
12. CENAPRED. "Fenómenos hidrometeorológicos". México. 2008.
13. CENAPRED. "Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana". México.
14. CENAPRED. "Inundaciones". México.

15. CENAPRED. "Programa especial de prevención y mitigación del riesgo de desastres 2001-2006". México.
16. CENAPRED. "Riesgos químicos". México. 2007.
17. CENAPRED. "Sismos. Preparación y respuesta". México.
18. CENAPRED. "Tormentas severas". México. 2010.
19. CENAPRED. "Volcán popocatepetl". México.
20. CENAPRED. "Volcán popocatepetl. Estudios realizados durante la crisis 1994-1995". México. 1995.
21. Chávez Gudiño José Juan. "Uso De La Distribución Generalizada De Pareto Multivariada Para Modelar Riesgo Operativo". Tecnológico De Monterrey. 2009.
22. Coles, S. "An introduction to statistical modeling of extreme values". Springer 2001.
23. Comas, Rodríguez Oscar Jorge. "Sismos, Saber Qué Hacer". UAM. 2007.
24. Delfiner, Miguel T. GUTIÉRREZ, Girault Matías A. "Aplicación De La Teoría De Valores Extremos Al Gerenciamiento Del Riesgo". Banco Central De La República Argentina. 2001.
25. Embrechts, P., C. Klupellberg & T. Mikosh. "Modelling extreme events for insurance and finance". Springer, 2000.
26. Estrada, Porrúa Manuel. "Cambio Climático Global: Causas Y Consecuencias". INEGI. 2001.
27. Fera, Domínguez José Manuel. "El Modelo De Distribución De Pérdidas Agregadas (LDA): Una Aplicación Al Riesgo Operacional". Universidad Pablo De Olavide. 2007.
28. Fraga, Alves Isabel. "Extreme Value Distributions". University of Libon. 2007.
29. Galambos, J. The asymptotic theory of extreme order statistics. J. Wiley & Sons. 1978.
30. García, Pérez Almudena. "La teoría del valor extremo: una aplicación al sector asegurador". Universidad de Castilla. 2004.
31. Guillermo, Maggio Eduardo. "Análisis Estadístico De Valores Extremos". NOLDOR S.R.L. 2000.

32. Hernández, Aracelis. "Distribución límite de los extremos del modelo t-student truncado para datos de lluvia diaria". Tesis Doctoral. Universidad Simón Bolívar. Enero 2005.
33. Leadbetter, M. R. Lindgren, G. and Rootzen, A. "Extremes and related properties of random sequences and series". Springer Verlag, New York. 1983.
34. Maggio, Guillermo Eduardo. "Análisis estadístico de Valores Extremos". Buenos Aires. 2000.
35. Mc Neil, A. J. "Estimating the tails of loss severity distributions using Extreme Value Theory". 1997.
36. Mc Neil, A. J. "The peaks over thresholds method for estimating high quantiles of loss distributions". 1997.
37. Muhaisen, Omar. "Simulación basada en la teoría de valor extremo y cópula para estimación de caudales en sistema de sanitaria". Tesis Doctoral. Granada. 2005.
38. OPS. "Los desastres naturales y la protección de la salud". Washington. 2000.
39. Ortega, J. "Introducción A La Teoría De Valores Extremos" Centro De Investigación En Matemáticas (CIMAT), México 2008.
40. Pérez, María José. "Aplicación de la teoría del valor extremo al ajuste y modelación de catástrofes". Universidad de Madrid. 2004.
41. Pickands, J. "Statistical Inference Using Extreme Order Statistics". Annals of Statistics. 1975.
42. Pfeifer, Dietmar. "Extreme Value Theory in actuarial consulting: windstorm losses in central europe". University of Hamburg.
43. Resnick, S. I. "Extreme values, regular variation and point processes". Springer, 1987.
44. Sempere, Daniel. "Consecuencias hidrológicas de los incendios forestales". Universidad de Catalunya. 2001.
45. SHCP. "Administración de Riesgos Catastróficos: un reto para el sector público y privado". México. 2007.
46. Shukla, Ripunjai. "On the proficient use of GEV distribution: a case study of subtropical monsoon region". 2010.
47. Smith, Richard. "Extreme value theory". University of North Carolina. 2009.

48. Tartakowsky, Andrea Natalia. "Ajuste de riesgo y enfermedades catastróficas: un estudio de competencia administrada!". Universidad de Chile.
 49. Velasco, Luna Fernando. HERNÁNDEZ, González Sergio. "Teoría De Valores Extremos: Una Introducción". Laboratorio De Investigación Y Asesoría Estadística (LINAIE). 2007.
 50. Velázquez, Ibarra Karina. "Medición por valores extremos del riesgo de crédito para intermediarios financieros no bancarios". Facultad de Ciencias. 2012.
 51. Villers, Gómez Sofía. "Programa para cálculo de p-values de estadísticas EDF para pruebas de Bondad de Ajuste". IIMAS. 2011.
-