



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**Cuantificación del Riesgo de inundación por lluvia.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**ACTUARIA**

**P R E S E N T A:**

**Sandy Xanadi Pérez Carrillo**



**DIRECTOR DE TESIS:  
M. en I. Juan Carlos Vargas Aguilar  
2015**

México, D.F.



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.

## Hoja de datos del jurado

1. Datos del alumno.

Pérez  
Carrillo  
Sandy Xanadi  
044 55 29 06 22 09  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Actuaría  
3 03313876

2. Datos del tutor.

M en I  
Juan Carlos  
Vargas  
Aguilar

3. Datos del sinodal 1.

Act  
Arturo  
Roldán  
López

4. Datos del sinodal 2.

Act  
Angélica María  
Lara  
Hernández

5. Datos del sinodal 3.

M en I  
María Isabel  
Escalante  
Membrillo

6. Datos del sinodal 4.

Act  
Francisco Fernando  
Morales  
Castro

7. Datos del trabajo escrito

Cuantificación del Riesgo de inundación por lluvia  
127 p.  
2015

## Agradecimientos

Agradezco a Dios y María por acompañarme y ayudarme a terminar mi tesis.

A mis padres quienes me apoyaron y alentaron para continuar, no dejando rendirme.

A mi tutor Juan Carlos por apoyarme incondicionalmente a pesar del tiempo transcurrido y a mis maestros quienes nunca desistieron al enseñarme, depositando su esperanza en mí.

A María Isabel Escalante, Angélica Lara, Francisco Morales y Arturo Roldán quienes aceptaron ser mis sinodales, estudiaron mi tesis y la aprobaron.

A todos mis amigos que me apoyaron para escribir y concluir esta tesis, por su apoyo incondicional.

## Índice

Introducción.....	10
1. Seguro.....	12
1.1. Síntesis de la historia del seguro en México .....	14
1.1.1. Surgimiento del seguro.....	14
1.1.2. Surgimiento del seguro en México .....	15
1.1.2.1. El seguro en México durante el siglo XIX.....	16
1.1.2.2. El seguro en México durante el siglo XX.....	19
1.1.2.3. El seguro en México durante el siglo XXI.....	22
2. Inundación.....	25
2.1. Definiciones .....	25
2.2. Clasificación de las inundaciones .....	28
2.2.1. Clasificación de las inundaciones por su origen .....	28
2.2.1.1. Inundación pluvial.....	28
2.2.1.2. Inundaciones fluviales .....	29
2.2.1.3. Inundaciones costeras.....	30
2.2.1.4. Inundaciones por falla de infraestructura hidráulica .....	30
2.2.2. Clasificación de las inundaciones por el tiempo de respuesta de la cuenca....	31
2.2.2.1. Inundaciones rápidas o súbitas.....	31
2.2.2.2. Inundaciones lentas .....	31
2.3. Inundaciones en México .....	33
2.3.1. Inundaciones en 1999 .....	33
2.3.1.1. Puebla .....	33
2.3.2. Inundaciones en 2002 .....	36
2.3.2.1. Inundaciones en 2003 .....	37
2.3.2.2. Guanajuato.....	38
2.3.2.3. Jalisco .....	39
2.3.2.4. Michoacán .....	40
2.3.2.5. Nayarit.....	41
2.3.2.6. Zacatecas .....	42
2.3.2.7. Veracruz.....	43
2.3.3. Inundaciones en 2007 .....	44

2.3.3.1.	Tabasco .....	45
3.	Análisis del Riesgo.....	48
3.1.	Metodología de la CNSF .....	48
3.1.1.	Daño esperado dada la intensidad.....	50
3.1.2.	Densidad de probabilidad del daño en una edificación.....	51
3.2.	Metodología del CENAPRED .....	53
3.2.1.	Índice de vulnerabilidad.....	56
3.2.2.	Funciones de vulnerabilidad para el menaje de casa .....	57
3.2.3.	Riesgo .....	60
3.3.	Ley de Fuga (Modelo Poisson – exponencial).....	61
3.3.1.	Distribución Poisson .....	61
3.3.1.1.	Función de Distribución de Probabilidad Poisson.....	62
3.3.1.2.	Esperanza de la Distribución Poisson.....	63
3.3.1.3.	Varianza de la Distribución Poisson.....	64
3.3.2.	Función de distribución de probabilidad exponencial.....	65
3.3.2.1.	Esperanza de la distribución exponencial .....	66
3.3.2.2.	Varianza de la distribución exponencial .....	66
3.3.3.	Variable Aleatoria S .....	67
3.3.3.1.	Esperanza de la variable aleatoria S.....	68
3.3.3.2.	Varianza de la variable aleatoria S.....	69
3.3.3.3.	Tiempos de interarribo.....	70
3.3.4.	Variable Aleatoria $X_t$ .....	72
3.3.4.1.	Función de densidad de probabilidad de la variable aleatoria S .....	73
4.	Cálculo del seguro con cobertura por inundación a través de simulación.....	77
4.1.	Prima Pura y Coeficientes de Riesgo.....	77
4.2.	Simulación.....	78
4.2.1.	Hipótesis y consideraciones .....	81
4.2.2.	Generación de datos mediante simulación estocástica.....	85
4.2.3.	Estimador de la función de distribución de probabilidad Poisson por método de momentos .....	89
4.2.4.	Estimador de la función de distribución de probabilidad exponencial por método de momentos.....	89
4.2.5.	Cálculo de número de días con lluvia por mes a través de la Función Poisson.	
	93	
4.2.6.	Cálculo de la intensidad de las lluvias a través de la función exponencial.....	97

4.2.7.	Cálculo del número de lluvias y su intensidad.....	102
4.2.8.	Cálculo de la severidad en relación al número de lluvias y su intensidad simuladas. ....	105
5.	Conclusiones.....	114
6.	Anexos .....	117
7.	Bibliografía.....	126

## Índice de tablas, gráficas e imágenes

- Tabla 1.1.2.1 Distribución de las compañías
- Gráfica 1.1.2.1 Distribución de las compañías.
- Tabla 1.1.2.2 Distribución de las compañías
- Gráfica 1.1.2.2 Distribución de las compañías.
- Tabla 1.1.2.3 Distribución de las compañías
- Gráfica 1.1.2.3 Distribución de las compañías.
- Foto 2.1-1 Desbordamiento del río Vado Ancho en el Municipio de Villacomatitlán
- Foto 2.1-2 Daños por oleaje y marea de tormenta en Chetumal, Quintana Roo.
- Tabla 2.3.1.1-1 Resumen del total de daños (Millones de pesos).
- Tabla 2.3.1.1-2 Recursos del FONDEN para daños por inundaciones en Puebla (Millones de pesos).
- Tabla 2.3.2 Principales lluvias e inundaciones ocurridas durante el año 2002
- Tabla 2.3.2.1 Resumen de los daños en los 6 estados.
- Tabla 2.3.2.2 Resumen de los daños en el estado de Guanajuato (Miles de pesos)
- Tabla 2.3.2.3 Resumen de los daños en el estado de Jalisco (Miles de pesos).
- Tabla 2.3.2.4 Resumen de daños totales (Miles de pesos).
- Tabla 2.3.2.5 Resumen daños totales (Miles de pesos).
- Tabla 2.3.2.6 Resumen de daños (Miles de pesos).
- Tabla 2.3.2.7 Resumen de daños (Miles de pesos).
- Tabla 2.3.3-1 Resumen estatal de daños ocasionados por ciclones tropicales, lluvias e inundaciones ocurridos en el 2007.
- Tabla 2.3.3-2 Resumen regional de daños ocasionados por ciclones tropicales, lluvias e inundaciones ocurridas en el 2007.
- Tabla 2.3.3.1 Tabasco resumen de daños (En millones de pesos).
- Tabla 3.2-1 Material en muros de viviendas.
- Tabla 3.2-2 Material en techos de viviendas.
- Tabla 3.2-3 Combinación de los materiales usados en techos y muros.
- Tabla 3.2.1-1 Índice de vulnerabilidad según el tipo de vivienda

- Tabla 3.2.1-2 Clasificación del tipo de vivienda, según el material utilizado en techo y muros.
- Tabla 3.2.2 Cuantificación del menaje por tipo de vivienda.
- Tabla 4.2.1 Menaje por tipo de vivienda.
- Imagen 4.2.1 Zona Metropolitana del Valle de México: Grado de marginación por AGEB urbana, 2005.
- Tabla 4.2.2 Lámina de lluvia mensual.
- Gráfica 4.2.2 Días con precipitación, registro mensual.
- Tabla 4.2.4-1 Precipitación Media en mm. por mes.
- Tabla 4.2.4-2 Registro de días con lluvia, periodicidad mensual.
- Tabla 4.2.4-3 Registro de días con lluvia de los últimos 10 años.
- Tabla 4.2.5-1 Función de distribución de probabilidad Poisson.
- Gráfica 4.2.5-1 Función de Distribución de probabilidad.
- Tabla 4.2.5-2 Función de densidad de probabilidad Poisson.
- Gráfica 4.2.5-2 Función de Densidad de probabilidad.
- Tabla 4.2.5-3 Función Poisson inversa (Número días con lluvias por mes).
- Gráfica 4.2.5-3 Función Poisson inversa (Número días con lluvias por mes).
- Tabla 4.2.6-1 Función de distribución de probabilidad exponencial.
- Gráfica 4.2.6-1 Función de Distribución de probabilidad.
- Tabla 4.2.6-2 Función de densidad de probabilidad exponencial.
- Gráfica 4.2.6-2 Función de Densidad de probabilidad.
- Tabla 4.2.6-3 Intensidad de las lluvias por mes (mm por lluvia en cada mes).
- Gráfica 4.2.6-3 Intensidad de las lluvias por mes (mm por lluvia en cada mes).
- Tabla 4.2.7-1 Simulación de total de lluvias por mes en un año.
- Tabla 4.2.7-2 Simulación de la intensidad de las lluvias por mes en un año.
- Tabla 4.2.7-3 Intensidad de cada lluvia simulada por mes en el año.
- Gráfica 4.2.7 Intensidad de cada lluvia simulada por mes en el año.
- Tabla 4.2.8-1 Vulnerabilidad por tipo de casa en relación al tirante (mm).
- Tabla 4.2.8-2 Cuantificación del menaje por tipo de vivienda.
- Tabla 4.2.8-3 Prima Pura de acuerdo a la vulnerabilidad para una vivienda tipo 1 asociada a la intensidad de las lluvias simuladas.

- Tabla 4.2.8-4 Prima Pura de acuerdo a la vulnerabilidad para una vivienda tipo 2 asociada a la intensidad de las lluvias simuladas.
- Tabla 4.2.8-5 Prima Pura de acuerdo a la vulnerabilidad para una vivienda tipo 3 asociada a la intensidad de las lluvias simuladas.
- Tabla 4.2.8-6 Prima Pura de acuerdo a la vulnerabilidad para una vivienda tipo 4 asociada a la intensidad de las lluvias simuladas.
- Tabla 4.2.8-7 Prima Pura de acuerdo a la vulnerabilidad para una vivienda tipo 5 asociada a la intensidad de las lluvias simuladas.
- Tabla 4.2.8-8 Prima Pura por nivel de vivienda de acuerdo a la simulación.
- Tabla 4.2.8-9 Media de las Primas Puras por nivel de vivienda de acuerdo a las simulaciones.
- Tabla 4.2.8-10 Punto de inflexión en simulación de la Prima Pura por nivel de casa.
- Gráfica 4.2.8 Media de las Primas Puras por nivel de vivienda de acuerdo a las simulaciones.

## Introducción

Uno de los principales problemas a los que se enfrenta el hombre son los desastres naturales, dentro de los cuales se pueden encontrar las inundaciones, ya que pocos lugares sobre la tierra no sufren esta afectación.

Las inundaciones son repentinas y difíciles de predecir. Los expertos en desastres las clasifican en función de su probabilidad de ocurrencia dentro de un periodo en concreto, además del origen que las haya generado. Se debe tener en cuenta que la destrucción que acompaña a las inundaciones puede ser de dimensiones catastróficas, teniendo impactos ambientales y sociales.

El presente trabajo pretende ejemplificar un método para la cuantificación del riesgo de inundación causado por lluvias en un área determinada, mostrando su aplicación con el cálculo de la prima pura de un seguro de riesgos que considere la cobertura contra inundación por lluvia como un riesgo individual; es decir, independiente de los demás riesgos hidrometeorológicos, pues actualmente la cobertura se puede encontrar en combinación con otras, de acuerdo a los lineamientos de la CNSF. La lógica del cálculo de la prima pura se realizará utilizando una simulación de la ocurrencia de eventos de acuerdo a una Ley Fuga (Poisson- exponencial).

En el primer capítulo, se presentarán conceptos básicos para un mejor entendimiento del concepto de los seguros, así como un breve recuento del desarrollo de su evolución: su surgimiento e historia en México.

El segundo capítulo enumerará terminologías relacionadas con las inundaciones, las principales clasificaciones de las mismas y los principales fenómenos hidrometeorológicos que han afectado a México en los últimos años, pudiendo constatar la magnitud de los daños ocasionados.

El capítulo tres detallará las metodologías de la Comisión Nacional de Seguros y Fianzas (CNSF), el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y la Ley Fuga, para el cálculo de riesgo por inundación.

En el capítulo cuatro se podrá encontrar la simulación de lluvias utilizando los principios de la Ley Fuga para generar el número de eventos y su intensidad por mes en un área determinada, de acuerdo a los registros históricos de lámina de lluvia que se han podido recabar.

Lo anterior permitirá ejemplificar la cuantificación del riesgo por inundación ocasionada por lluvia en un área específica y su aplicación con el cálculo de la prima pura de un seguro contra inundación por lluvia, considerando el riesgo de manera individual, pudiendo segmentar el riesgo por tipología de viviendas.

Finalmente, se expresará el resultado y las conclusiones del proceso en el apartado final.

## 1. Seguro

Desde el inicio de los tiempos el hombre ha vivido rodeado de riesgos y peligros inherentes a su existencia; debido a esto ha tenido la necesidad de desarrollar una cultura de prevención. Para prevenir, anticipar y/o cuantificar el riesgo nacen los seguros; tratando de resarcir las posibles pérdidas.

La principal característica que se debe tener en cuenta en un seguro es que es un “*contrato de buena fe*” entre dos entidades, donde una parte (aseguradora) conviene en compensar con dinero o en especie el posible daño que pudiese sufrir la otra parte (asegurado) a cambio de una remuneración (prima).

Actualmente en México la actividad aseguradora está normada principalmente por:

- “Ley del contrato de seguros”, relación entre asegurado y aseguradora, y
- “Ley de instituciones de seguros y fianzas (LISF)”, donde se enuncian los principios de solvencia II.

La ley anterior era la “Ley general de instituciones y sociedades mutualistas de seguros” (LGISMS), se sustituyó por la LISF, misma que regulaba los procedimientos de las compañías de seguros.

El artículo 25° de la LISF<sup>1</sup> establece cuales son los posibles ramos y operaciones que puede realizar una institución:

Las autorizaciones para organizarse y funcionar como institución o sociedad mutualista de seguros, son por su propia naturaleza intransmisibles y se referirán a una o más de las siguientes operaciones de seguros:

- Vida
- Accidentes y enfermedades, en alguno de los ramos siguientes:
  - Accidente personales.
  - Gastos Médicos.
  - Salud.
- Daños en alguno o algunos de los ramos siguientes:
  - Responsabilidad civil y riesgos profesionales.
  - Marítimo y transportes.
  - Incendio.
  - Agrícola y de animales.
  - Automóviles.
  - Crédito.
  - Crédito a la vivienda.
  - Garantía financiera.
  - Diversos.
  - Terremoto y otros riesgos catastróficos.
  - Los especiales que declare la Secretaria de Hacienda y Crédito Público, conforme a lo dispuesto por el artículo 28° de esta ley.

---

<sup>1</sup> Comisión Nacional de Seguros y Fianzas (en línea): Ley de instituciones de seguros y fianzas (LISF), (fecha de consulta 07-08-2015). Páginas 8 y 9. Disponible en: [http://www.cnsf.gob.mx/Normativa/Leyes%20y%20Reglamentos/LISF%20\(Versi%C3%B3n%20Compilada%20al%2010-Ene-14\).pdf](http://www.cnsf.gob.mx/Normativa/Leyes%20y%20Reglamentos/LISF%20(Versi%C3%B3n%20Compilada%20al%2010-Ene-14).pdf)

## 1.1. Síntesis de la historia del seguro en México

Para poder hablar del origen y la evolución del seguro en México es necesario situar el contexto histórico por el que atravesaba el país; además de contar con una idea del surgimiento del seguro en el mundo.

### 1.1.1. Surgimiento del seguro

Situación una fecha exacta de la creación del seguro es imposible, ya que desde el principio de los tiempos el riesgo ha estado rodeándonos; el hombre en su afán de protegerse ha tratado de impedir este riesgo o disminuir su influencia hacia su persona y actividades.

En lugares como Babilonia, Egipto, Grecia, Roma, Italia, India e incluso algunas culturas mesoamericanas, ya se tenía práctica sobre el manejo de los riesgos; sin embargo, el seguro en sus inicios no se consideró como una institución establecida. Es aproximadamente en el año 2250 a. C. que en Babilonia se puede ubicar el “Código Hamurabi” como antecedente del seguro, pero no se puede considerar de una manera precisa la idea misma de éste.

La idea del seguro la podemos hallar en la creación de las “Leyes de Rodas”, base del derecho mercantil de Atenas, mediante las cuales los dueños de embarcaciones recolectaban cantidades de dinero para ayudar a los propietarios de embarcaciones que sufrieran daños; poniendo en práctica una forma de seguro, ya que se distribuye un riesgo común entre todos. Por el año 533 a. C. estas leyes fueron consideradas en el derecho romano.

Cabe mencionar que el principal auge de los seguros surgió en el mar; por lo que se puede afirmar que el seguro marítimo es la primera actividad del desarrollo asegurador, quedando asentado con la primera póliza de seguro marítimo con fecha el 23 de octubre de 1347 en Génova. Para los siglos XIII y XIV se puede observar una gran actividad en materia aseguradora, siendo los genoveses los primeros en ejercer la actividad, sin que por esto se constituyesen leyes u ordenanzas.

Es hasta el año 1345 con “La Ordenanza de Barcelona” que se generó el primer instrumento jurídico que regularía la actividad aseguradora. Gran cantidad de estatutos y ordenanzas le siguieron, entre los que podemos mencionar:

- “La Recopilación de las Indias”, cuya función fue la regulación del derecho marítimo y mercantil.
- “Las Ordenanzas de Bilbao” (1725), se aborda el tema de riesgo, seguros y aseguradores de la Carrera de las Indias.

### 1.1.2. Surgimiento del seguro en México

Entre las culturas Maya y Chichimeca se puede encontrar el uso de indemnizaciones en caso de muerte y el pago de deudas en auxilio de la población; sin embargo, es hasta la colonización en América que se da una influencia de España hacia sus colonias respecto a la materia aseguradora.

Se puede asegurar que el seguro en la Nueva España nace en el mar; ya que los puertos de Veracruz y Acapulco jugaron un papel importante en el comercio exterior. Veracruz fue el principal puerto entre México y España, mientras que Acapulco era su análogo entre México y Filipinas.

Dada la importancia del comercio y el mar para España, la primera compañía aseguradora nace en Veracruz bajo el nombre de Compañía de Seguros Marítimos de la Nueva España (1789), con el fin de cubrir los riesgos de La Carrera de las Indias. A pesar de que no queda ningún registro de esta compañía, fue pilar para la creación de nuevas aseguradoras y el desarrollo del seguro en el país.

En materia mercantil las “Ordenanzas del Consulado de la Universidad de los Mercaderes de la Nueva España” (1604), denominaba que los seguros estaban sujetos a las “Ordenanzas de Sevilla”. “Las Ordenanzas de Bilbao” rigieron en México hasta 1854, fecha en la que se expidió el “Código de Lares” bajo el gobierno de Antonio López de Santa Anna, presidente de México.

### 1.1.2.1. El seguro en México durante el siglo XIX

El siglo XIX fue escenario de grandes cambios políticos a nivel mundial, desde las guerras de independencia por parte de las Colonias en América, hasta movimientos bélicos en Europa.

En México, respecto a la actividad aseguradora, se da la creación de la segunda compañía: Compañía de Seguros Marítimos de Nueva España (1802), a pesar de que la situación que se vivía en el país no era la más favorable para el desarrollo de la actividad. Además en este siglo se funda la empresa Exter, Greaves & Co., dedicada a la exportación e importación (en 1946 se constituye como Watson Philips y Cía., Sucesores S. A), donde su importancia radica en ser una de las firmas inglesas con carácter mercantil íntimamente relacionada con los seguros (remontándose a su calidad de agente Lloyd's).

Al lograr México su independencia de España se crearon nuevas legislaciones, entre las que cabe mencionar:

- “La Organización de las Juntas de Fomento y Tribunales Mercantiles”,
- “El Código de Comercio de México o Código de Lares” (16 de mayo de 1854),
- “El Libro Segundo Del Comercio Terrestre” (donde se dedica el título VII a los seguros terrestres y marítimos tratando el aspecto de una “justa valuación” y el clausulado en caso de guerra).

Para el año de 1815, el Congreso de Viena daba un lapso de estabilidad a Europa; mientras que Francisco José ocupaba el trono en Austria, México experimentaba su segundo imperio bajo el yugo de Maximiliano de Habsburgo. En esta época los Seguros de Vida e Incendio ya tenían un cierto desarrollo en la nación Austriaca, por lo que durante el mandato de Maximiliano se establecieron varias compañías aseguradoras fomentando y acrecentando la actividad hasta entonces inexistente en el país:

- En 1864 se hizo la presentación de Home Colonial Fire Insurance Ltd. De Londres, compañía aseguradora inglesa que trabajó riesgos de vida e incendio.
- El 4 de Febrero de 1865 se fundó La Previsora, primera compañía de seguros mutuos contra incendio.
- El 7 de febrero de 1865 se estableció la compañía La Bienhechora, dedicada a seguros de vida.
- En el mes de septiembre de 1865 se le concede a D. Joaquín Acebo el establecimiento de dos nuevas compañías de seguros, una para riesgos de vida El Provenir y otra para incendios La Mexicana, siendo ésta última mutualista.
- 1887 se fundó La Mexicana, para el ramo de vida; implementando el cálculo de una reserva científica de primas sin que la ley lo obligará.
- El 27 de julio de 1897 se autorizó a la compañía Anglo-Mexicana de Seguros operar; constituyéndose como la institución más antigua para todos los ramos.

Un hecho importante a mencionar es que por primera vez en el país se consideraron sanciones y castigos para aquellas instituciones que realizarán algún mal manejo o anomalías en el desempeño de las actividades; además de contar con la facultad para reasegurar con compañías nacionales y extranjeras.

En materia legislativa se expidieron nuevas leyes y decretos, entre los que cabe destacar:

- “Código Civil del Estado de Veracruz” (18 de diciembre de 1868),
- “Código Civil del Distrito Federal y Territorios de la Baja California” (8 de diciembre de 1870),
- “Código de Comercio de los Estados Unidos Mexicanos” (15 de abril de 1884),
- “Código de Comercio” (15 de septiembre de 1889) y
- la ratificación de las “Reglas de York y Amberes” (1890).

De acuerdo a estos lineamientos los representantes de compañías aseguradoras extranjeras y nacionales regían su actividad.

El año de 1892 es de gran relevancia para el mercado asegurador mexicano, ya que la aparente libertad con la que contaban las aseguradoras en su desempeño se vio limitada por la promulgación de la primera ley del seguro en México: “Ley sobre Compañías de Seguros o Ley del Timbre”. Esta ley ofrece reglas y lineamientos para un sano desenvolvimiento del seguro, ya que se fijan las prescripciones para someter a las entidades nacionales y extranjeras garantizando los derechos de los asegurados, dando un carácter privado al seguro.

A principios de 1897 el país ya contaba con diversas empresas aseguradoras extranjeras y una nacional, especialmente sobre riesgo contra incendio, por lo que la unión de todas las empresas extranjeras dio como resultado la Asociación Mexicana de Agentes de Seguros contra Incendios, estableciendo la Tarifa de Seguro de Incendio de la República Mexicana (1898).

Tabla 1.1.2.1 Distribución de las compañías

Rubro	Número
Vida nacionales	2
Vida extranjera	5
Incendio nacionales	1
Incendio extranjeras	14

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 1.1.2.1 Distribución de las compañías.



Fuente: Elaboración propia.

La tabla y gráfica anteriores nos indican la distribución de las compañías aseguradoras que se existían a finales del siglo XIX, donde se puede observar que el rubro con mayor demanda es el de aseguradoras contra riesgo de incendio, principalmente compañías extranjeras.

### 1.1.2.2. El seguro en México durante el siglo XX

Los primeros años de 1900 fueron de gran actividad para el ramo de riesgos sobre la vida, ya que se crearon 3 compañías de seguros y una más para incendio:

- La Nacional, 21 de noviembre de 1901.
- Confederación de Canadá, 2 de mayo de 1902.
- La Latinoamericana, 30 de abril de 1906, cambiando en 1910 de nombre a La Latino Americana, Cía. de Seguros sobre la vida.
- Compañía de Seguros Veracruzana, S. A., 30 de septiembre de 1908, sobre el ramo de incendio.
- Además, el 18 de noviembre de 1907 se constituye la Asociación de Propietarios de Veracruz S.C. de R.L., antecedente de la Compañía de Seguros Veracruzana, S.A.

A finales de 1935 operaban en el país 66 instituciones de seguros, de las cuales 52 eran extranjeras: 27 inglesas, 8 alemanas y de otras naciones con menor representación.

Respecto al tema legislativo, las principales promulgaciones/modificaciones fueron:

- 25 de mayo de 1910 se promulgó la “Ley Relativa de la Organización de las compañías de Seguros sobre la Vida”, regulando por primera vez este rubro.
- 24 de agosto de 1910 se publicó en el “Diario Oficial de la Federación” el primer “Reglamento para compañías de seguros extranjeras y nacionales”, dando a conocer el uso de la tabla de mortalidad “Experiencia Americana”, mientras se construía la Tabla Mexicana denominada “Tabla de Mortalidad Mexicana E. M. 62-67”. Mediante este reglamento las aseguradoras quedan bajo la supervisión de la Secretaria de Hacienda para la aprobación de solicitudes, exámenes médicos, pólizas, primas y futuras modificaciones.
- 1926 se promulgó la modificación a la “Ley General de Seguros”, proponiendo la nacionalización de las compañías extranjeras del rubro de vida; adicionándose un decreto el 21 de julio de 1932 donde se fijaba el valor de los

bonos y acciones del activo de las empresas aseguradoras y otro decreto el 21 de noviembre de 1934, donde se menciona que las compañías aseguradoras podrían emplear el “Método de Valuación por Edad Alcanzada”.

- 1935 se publican “La Ley General de Instituciones de Seguros” y la “Ley del Contrato de Seguros”, significando un gran cambio en la legislación de los seguros y garantías al público, constituyéndose así la mexicanización del seguro.
- 14 de septiembre de 1946 se promulgó un decreto reformando la “Ley sobre el contrato de seguros”, además de la creación de la Comisión Nacional de Seguros, organismo descentralizado auxiliar de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP).
- 21 de septiembre de 1955, el primer “Reglamento de Agentes de las Instituciones de Seguros” fue promulgado.
- 29 de diciembre de 1956, se reforma la “Ley General de Instituciones de Seguros” encontrándose la división actual de las operaciones de los seguros: Accidentes y enfermedades, Vida y Daños.
- El 29 de diciembre de 1970 se unifican la Comisión de Seguros y la Comisión Bancaria, creando la Comisión Nacional Bancaria y de Seguros (CNBS).
- A finales de 1978, en una circular de la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros (AMIS) ve a la luz un nuevo tipo de póliza “Seguro Múltiple para Empresas”. Este seguro otorga diversas coberturas: incendio, terremoto (opcional), responsabilidad civil, robo con violencia, dinero y valores, rotura de cristales, anuncios luminosos y calderas.
- 20 de diciembre de 1984, modificaciones a la “Ley General de Instituciones de Seguros” que amplían el campo de actividades en la parte de Vida y se tecnifican aspectos del cálculo de la reserva de riesgos en curso (RRC) del ramo No-vida.
- 3 de enero de 1990, por la nueva “Ley General de Instituciones y Sociedades Mutualistas de Seguros” la CNBS se separa creando la Comisión Nacional Bancaria (CNB) para atender las necesidades derivadas de las instituciones bancarias, y la Comisión Nacional de Seguros y Fianzas (CNSF) órgano descentralizado de la SHCP encargado de la regulación, inspección y vigilancia del sector asegurador y afianzador. El “Reglamento de la CNSF” fue publicado

el 14 de enero de 1991, determinando su estructura, facultades y atribuciones.

- 14 de julio de 1993 se decretó una nueva modificación a la “Ley General de Instituciones y Sociedades Mutualistas”, esta modificación puede considerarse como un segundo paso a la modernización del seguro, definiéndose la operación activa cuando una persona asume un riesgo (actual definición de un Seguro) y estableciendo que las aseguradoras podrán ser construidas como sociedades de capital fijo y variable.

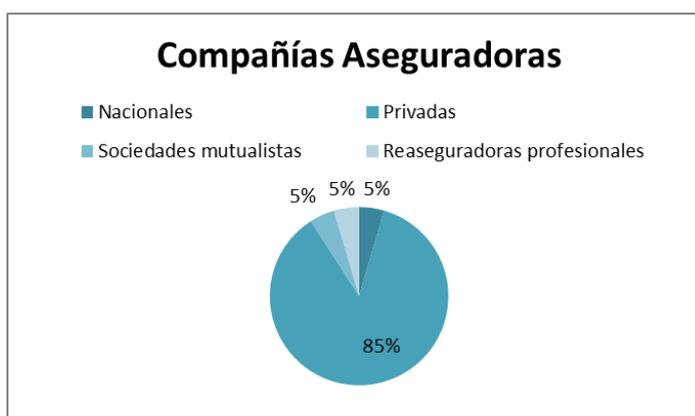
En la siguiente tabla es posible observar que para 1994 se contaba con 44 instituciones, las cuales estaban constituidas de la siguiente manera:

Tabla 1.1.2.2 Distribución de las compañías.

Institución	Número
Nacionales	2
Privadas	38
Sociedades mutualistas	2
Reaseguradoras profesionales	2

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 1.1.2.2 Distribución de las compañías.



Fuente: Elaboración propia.

Las principales compañías eran instituciones privadas, donde sólo el 15% era ocupado por instituciones nacionales, sociedades mutualistas y reaseguradoras.

El año de 1995 fue escenario de cambios en materia del Sistema Pensionario con la “Nueva Ley del Seguro Social” (IMSS) publicada en el “Diario Oficial de la Federación” el 21 de diciembre, entrando en vigor hasta el primero de julio de 1997; hecho que propicio el establecimiento de nuevas instituciones de seguros especializadas en Rentas Vitalicias.

Con fecha del 3 de enero de 1997 se anexa un endoso a la póliza de incendio para tener mayor transparencia en la cobertura de riesgos catastróficos, por lo que el seguro de terremoto se constituye como ramo, dando libertad de adquirir seguros contra terremoto y otros riesgos catastróficos independientes del seguro para incendio.

Otro documento de vital importancia fue el publicado en el año de 1999, donde se dan a conocer las tablas de mortalidad:

- Tasas de Mortalidad Individual CNSF 2000-1 (1991-1998) y
- Tasas de Mortalidad Grupo CNSF-G (1991-1998).

Para este mismo año la SHCP-CNSF establece quienes serán las calificadoras Internacionales para el Registro de Reaseguradoras Extranjeras: A.M. Best, Duff & Phelps, Moodys y Standard & Poors.

### **1.1.2.3. El seguro en México durante el siglo XXI**

Es en este siglo donde se puede apreciar uno de los siniestros más grandes que ha vivido el mundo, el atentado del 11 de septiembre de 2001 con el derrumbamiento de las Torres Gemelas del Centro Mundial de Comercio y la afectación de las ciudades de Washington y Pennsylvania; hecho que generó un gran debate sobre la participación en el siniestro por parte de los reaseguradores, al no ponerse de acuerdo en sí debería contarse como uno o dos eventos.

En México, la ley general de instituciones y sociedades mutualistas de seguros sufre un decreto en el mes de enero de 2002, considerado el de mayor relevancia, pues entre sus puntos más importantes sobresalen:

- La obligación a los agentes de seguros a informar amplia y detalladamente a quien pretenda contratar un seguro.
- Se enumeran los requisitos necesarios para poder constituir una institución de seguros.

- Se autoriza la operación del Reaseguro Financiero.

Para el año 2003, el mercado asegurador en materia de Terremoto y Otros Ramos Catastróficos estaba constituido por 31 instituciones que proporcionaban cobertura por el primer tipo de seguro y 29 instituciones para el segundo.

En enero de 2004 la SHCP emitió un documento modificando la “Ley de Instituciones de Crédito”, por lo que las aseguradoras se ven obligadas a tener un amplio conocimiento de sus clientes y usuarios considerando antecedentes, condiciones específicas, actividad económica o profesional y giro.

El 18 de febrero de 2005 se publica en el “Diario Oficial de la Federación” un acuerdo por parte de la SHCP para dar conocer la creación de un nuevo tipo de seguros: el Micro Seguro de Vida, dirigido a personas de bajos ingresos asentadas en comunidades rurales que no tienen acceso a seguros comerciales.

Ese mismo año la CNSF obligo a las aseguradoras a realizar el registro de la Nota Técnica y documentación contractual correspondientes a los productos que pretenden ofrecer al público.

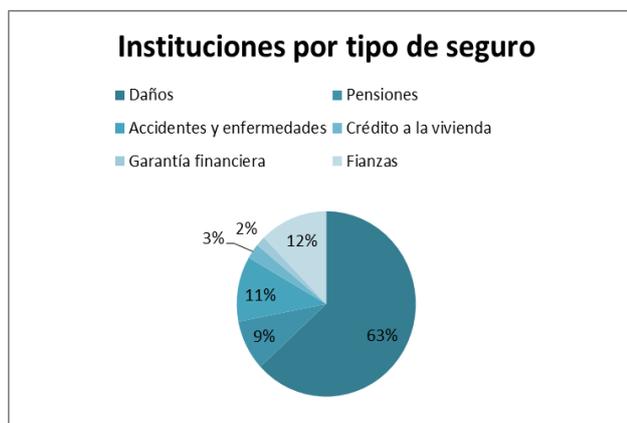
Para el año 2009 la distribución de las compañías aseguradoras se concentraba en el rubro de daños con un 63%; el mercado asegurador estaba integrado de la siguiente manera:

Tabla 1.1.2.3 Distribución de las compañías

Tipo de Seguro	Instituciones
Daños	72
Pensiones	10
Accidentes y enfermedades	13
Crédito a la vivienda	3
Garantía financiera	2
Fianzas	14

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 1.1.2.3 Distribución de las compañías.



Fuente: Elaboración propia.

El 4 de abril del 2013 se promulga la nueva ley de instituciones de seguros y fianzas (LISF), cuyo principal fin es el regular la organización, operación y funcionamiento de las Instituciones de Seguros, Instituciones de Fianzas y Sociedades Mutualistas de Seguros; las actividades y operaciones que las mismas podrán realizar, así como las de los agentes de seguros y de fianzas, y demás participantes en las actividades aseguradora y afianzadora previstos, en protección de los intereses del público usuario de estos servicios financieros<sup>2</sup>.

La ley de instituciones de seguros pretende establecer un único gobierno para las instituciones de seguros y fianzas, creando un único ordenamiento legal. Es importante recalcar que se establece un marco jurídico en materia de solvencia, estabilidad y seguridad prudencial similares a los que se buscan establecer bajo Solvencia II ("Directiva 2009/138/CE del Parlamento Europeo), incorporando los mecanismos para que cada Institución pueda desenvolver modelos internos para el cálculo del capital de solvencia que requiera de acuerdo a su perfil de riesgo, evitando que la CNSF establezca un parámetro único<sup>3</sup>.

Y así, los acontecimientos antes mencionados son los que han permitido generar la actual estructura de la actividad aseguradora del país.

---

<sup>2</sup> Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión, *Ley de instituciones de seguros y fianzas*, 10-01-2014 (en línea); (fecha de consulta 07-07-2015). Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LISF.pdf>

<sup>3</sup> Hayaux-du-Tilly L Yves, Pérez G Luciano, De la Fuente E. Miguel Ángel, *NUEVA LEY DE INSTITUCIONES DE SEGUROS Y DE FIANZAS*, 03-2013 (en línea); (fecha de consulta 07-07-2015). Disponible en: [http://www.nhg.com.mx/pdfs/nueva\\_ley\\_de\\_instituciones\\_de\\_seguros\\_y\\_fianzas.pdf](http://www.nhg.com.mx/pdfs/nueva_ley_de_instituciones_de_seguros_y_fianzas.pdf)

## 2. Inundación

Las inundaciones son el fenómeno natural que en los últimos años ha acrecentado su fuerza y magnitud, aumentando a la par la intensidad de los desastres y las pérdidas, no sólo económica y materialmente, también social y en víctimas humanas, pues es necesario la elevación de unos cuantos centímetros del nivel normal del agua para generar daños que van desde pequeñas pérdidas hasta grandes catástrofes.

Las inundaciones son fenómenos naturales que se gestan debido a diversas causas, con una antigüedad mayor que la civilización humana; pues el hombre en la búsqueda de un asentamiento que le brindara seguridad, comodidad y bienestar procuró lugares cercanos al agua, donde las áreas planas cercanas al agua facilitaron el establecimiento de la población. Las civilizaciones con más experiencia buscaron situarse en zonas más altas o lugares donde el agua difícilmente llegaría.

Este capítulo introducirá a la definición de inundación y conceptos necesarios para poder tener un acercamiento al tema del riesgo por inundación (causado por lluvias).

Además, se mencionarán las principales inundaciones que hasta el año 2007 han generado las mayores pérdidas en el país.

### 2.1. Definiciones

Para poder hablar sobre inundaciones y riesgos hidrometeorológicos es importante conocer algunos conceptos asociados, que nos permitan tener un conocimiento del tema.

## Inundación

La OMM/UNESCO<sup>4</sup> en su glosario internacional de hidrología define una *inundación* como *el aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce, tomando nivel normal como la elevación de la superficie del agua que no causa daños, por lo que puede decirse que una inundación es aquella elevación superior a la habitual en el cauce, pudiendo generar pérdidas.*

Otra definición importante relacionada con las inundaciones es la de avenida, quedando definida por la OMM/UNESCO como: *Una elevación rápida y habitualmente breve del nivel de las aguas en un río o arroyo hasta un máximo desde el cual dicho nivel desciende a menor velocidad. Estos incrementos y disminuciones, representan el comportamiento del escurrimiento en un río.*

Los investigadores del CENAPRED definen una inundación<sup>5</sup> como *aquel posible evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla alguna de la estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o del mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura.*

Foto 2.1-1 Desbordamiento del río Vado Ancho en el Municipio de Villacomatitlán



Fuente: CENAPRED, Impacto Socioeconómico de los desastres ocurridos en la República Mexicana 2007, p.65.

4 OMM/UNESCO (en línea): Glosario hidrológico internacional, 1974 (fecha de consulta 07-07-2015). WMO/OMM/BMO, No. 385, Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial, Suiza. Disponible es: <http://www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx/index.php/riesgos-hidrometeorologicos/inundaciones>.

<sup>5</sup> Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED, Salas Salinas Marco Antonio y Jiménez Espinosa Martín: Serie Fascículo: Inundaciones, 2004 ((fecha de consulta 07-07-2015), p.5.

## Escurrimiento

Suceso donde el agua proveniente de la precipitación, circula sobre o bajo la superficie terrestre y llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.<sup>6</sup>

## Precipitación

Proceso por el cual el vapor del agua que forma las nubes se condensa, formando gotas de agua que al alcanzar el tamaño suficiente se precipitan en estado líquido como lluvia, o sólido como nieve o granizo hacia la superficie terrestre. La precipitación se mide en milímetros.<sup>7</sup>

## Marea de tormenta

Es el ascenso del nivel medio del mar originado por la disminución de la presión atmosférica en el centro del ciclón tropical y los vientos de este fenómeno que incide sobre la superficie mar.<sup>8</sup>

Foto 2.1-2 Daños por oleaje y marea de tormenta en Chetumal, Quintana Roo.



Fuente: CENAPRED, op. cit. p. 83.

<sup>6</sup> Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED Varios autores, *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos*, CENAPRED, p.245.

<sup>7</sup> Salas, Jiménez, op. cit , p.51.

<sup>8</sup> Salas, Jiménez, op. cit, p.50.

## 2.2. Clasificación de las inundaciones

Las inundaciones pueden clasificarse de diferente manera, pero las más comunes son: por su origen o por el tiempo en que tardan en presentarse sus efectos.

### 2.2.1. Clasificación de las inundaciones por su origen

En esta clasificación se intenta identificar la posible causa que origina la inundación:

- Pluviales.
- Fluviales.
- Costeras.
- Falla en infraestructura hidráulica

#### 2.2.1.1. Inundación pluvial

Se originan a partir de precipitaciones, sobre todo cuando el terreno es saturado y el agua de lluvia excede empezando a acumularse.

La principal particularidad en este tipo de inundación es que el agua acumulada procede de la precipitación sobre la zona y no la que viene de alguna otra parte.

México se ve afectado por este tipo de fenómenos principalmente durante el verano por la acción de ciclones tropicales, mientras que en invierno es ocasionado por frentes fríos, aunados al efecto ejercido por las cadenas montañosas: tormentas de corta duración y poca extensión, más no así en intensidad.

## Causas de la precipitación

Las principales causas generadoras de precipitación son:

- **Ciclones tropicales:** estos fenómenos hidrológicos transportan grandes cantidades de humedad provocando tormentas de larga duración.
- **Lluvias orográficas:** en este tipo de lluvias el relieve juega un papel importante ya que actúa como una barrera o un modificador de la dirección del viento. El viento asciende y se enfría formando corrientes de aire húmedo, después de condensarse se precipita hacia el lado por el cual sopla el viento hacia las montañas.
- **Lluvias invernales:** también conocidos como frentes fríos, consiste en el desplazamiento de frentes de aire frío procedentes de la zona del Polo Norte. En México la zona más afectada es el noroeste del país, donde se presentan grandes precipitaciones.
- **Lluvias convectivas:** estas lluvias se generan a partir del calentamiento de la superficie terrestre, pues algunas zonas absorben mejor los rayos del sol, ocasionando que el aire en contacto con el suelo se caliente más que en los alrededores, formando corrientes verticales ascendientes de aire caliente húmedo que al llegar a la troposfera se enfrían condensándose, creando nubes densas en áreas reducidas.

### 2.2.1.2. Inundaciones fluviales

Se forman debido al agua desbordada de los ríos que queda sobre la superficie del terreno cercano a ellos.

La diferencia entre este tipo de lluvia y las pluviales, es que el agua desbordada sobre el área adyacente pertenece a precipitaciones ocurridas en cualquier parte de la cuenca tributaria, no solo atañe a la lluvia registrada sobre la zona afectada.

Las inundaciones fluviales más importantes se presentan en los ríos que alcanzan las planicies costeras o los de más longitud, debido a que el volumen que escurre sobre

el terreno a través de los causes se ve incrementado según el área de contribución de la cuenca.

#### **2.2.1.3. Inundaciones costeras**

Se generan debido al aumento del nivel medio del mar ocasionado por la marea, por lo que el agua penetra tierra adentro en grandes zonas costeras.

La marea de tormenta es debida a los vientos de ciclones tropicales sobre la superficie del mar en conjunto con la disminución de la presión atmosférica en el centro de estos fenómenos naturales. El oleaje del océano es generado principalmente por el viento. La combinación de ambos fenómenos es el responsable de estos estragos.

#### **2.2.1.4. Inundaciones por falla de infraestructura hidráulica**

Estas inundaciones se generan a causa de la insuficiencia en las obras reservadas para la protección o a su mal funcionamiento. Las inundaciones provocadas por este tipo de falla puede ser de mayor dimensión que si no existieran.

Las obras pueden presentar fallas debido a diversos factores:

- Diseño escaso: se posee poca información hidrológica de la cuenca y/o climatología. Otro factor es el mal empleo de metodologías o criterios.
- Mala operación: este caso atañe principalmente a las presas con compuerta, pues ésta puede ser abierta más de lo necesario provocando un desbordamiento del río; o por el contrario no abrirse lo suficiente para dejar pasar la crecida, intentando almacenar un nivel de agua más allá de lo diseñado.
- Falta de mantenimiento o término de la vida útil de la obra: se presenta principalmente debido a las deficiencias de operación y defectos estructurales.

## **2.2.2. Clasificación de las inundaciones por el tiempo de respuesta de la cuenca**

Las características fisiográficas de una cuenca son las que determinan la respuesta hidrológica. A partir de esta respuesta es que se da la clasificación en: inundaciones rápidas o lentas.

La principal diferencia entre las inundaciones lentas y rápidas radica en el tiempo en que se manifiestan los efectos, desde el inicio de la lluvia hasta que se genera el escurrimiento.

### **2.2.2.1. Inundaciones rápidas o súbitas**

Son el efecto de lluvias repentinas e intensas que acontecen en áreas específicas. Pueden originar que pequeñas corrientes se transformen en violentos torrentes capaces de causar grandes daños en poco tiempo.

Este tipo de inundaciones se presenta con mayor frecuencia en zonas urbanas debido a las construcciones realizadas en este tipo de lugares y a la deforestación, por lo que el agua no puede infiltrarse y casi todo el volumen de agua precipitado se transforma en escurrimiento.

### **2.2.2.2. Inundaciones lentas**

Este tipo de inundaciones se presentan cuando al ocurrir una precipitación que satura el terreno, ya no se puede seguir absorbiéndose el agua de lluvia, por lo que el remanente escurre por arroyos, ríos y/o sobre el terreno. Conforme el agua proveniente de la precipitación avanza a la salida de la cuenca y se incrementa en forma proporcional con el área drenada, si el volumen que fluye por el cauce excede la capacidad de éste, ocurrirán desbordamientos sobre sus márgenes y el agua desalojada puede persistir por horas o días sobre el área inundada.

Las inundaciones lentas se presentan con mayor frecuencia en zonas donde la pendiente del cauce es pequeña, lo que ocasiona que la capacidad de los ríos disminuya ocasionando inundaciones en las zonas contiguas.

## **2.3. Inundaciones en México**

La República Mexicana se encuentra ubicada en la parte septentrional del continente Americano; su privilegiada ubicación entre la Zona de Transición Tropical de Centroamérica, el Subtropical y Templado de Norteamérica hace que se posea gran diversidad en flora y fauna. Sin embargo, también debido a su ubicación es que se ve afectado por diversos fenómenos meteorológicos que han afectado considerablemente al país.

A continuación se enlistarán las principales inundaciones sufridas en el país en los últimos tiempos años.

### **2.3.1. Inundaciones en 1999**

El año 1999 fue escenario de fuertes lluvias que afectaron varios estados del centro del país; donde el mayor impacto fue registrado en el estado de Puebla.

#### **2.3.1.1. Puebla**

Fuertes lluvias torrenciales arremetieron en la Sierra Norte del Estado de Puebla debido a la depresión Tropical No. 11, que en conjunto con el frente frío No. 5 se desplazó hacia el norte colisionando contra un aire húmedo proveniente del Golfo de México y el Océano Pacífico, provocando una gran cantidad de vapor de agua generando grandes lluvias, afectando los estados de Hidalgo, Puebla, Tabasco y Veracruz.

Puebla fue el estado con mayor repercusión a consecuencia de los fenómenos naturales, debido a que el impacto se dio en comunidades con una elevada marginalidad.

Los daños se pueden resumir en:

- Afectación en 81 municipios (37% del total del estado).
  - 19% con daños mayores,
  - 13% con daños menores,
  - 6% sufrió afectaciones en agricultura y ganadería.
- Pérdida de 263 vidas humanas debido al desbordamiento de ríos, deslaves e inundaciones.
- 1,475,654 habitantes afectados, cifra que representó casi un 30% de la población ubicada en una superficie territorial del 24% del estado de Puebla.

Tabla 2.3.1.1-1 Resumen del total de daños (Millones de pesos).

Sector/Concepto:	Daños directos	Daños Indirectos	Total	Porcentaje del total
<b>SECTORES SOCIALES</b>	<b>505</b>	<b>15</b>	<b>520</b>	<b>22.4</b>
Vivienda	486.1		486.1	20.9
Educación	16.4	15	31.4	1.3
Salud	2.5	-	2.5	0.1
<b>INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS</b>	<b>1540</b>	<b>1</b>	<b>1541</b>	<b>66.3</b>
Agua y saneamiento	84.6	1.8	86.4	3.7
Energía (CFE)	481.1	-	481.1	20.7
Transporte y comunicaciones	974.3	-	974.3	41.9
<b>SECTORES PRODUCTIVOS</b>	<b>190.7</b>	<b>35</b>	<b>225.7</b>	<b>9.7</b>
Agricultura	132.5	35	167	7.2
Ganadería	15.4		15.4	0.7
Forestal	35		35	1.5
Pesca (acuicultura)	7.8		7.8	0.3
<b>ATENCIÓN A LA EMERGENCIA</b>		<b>38.6</b>	<b>38.6</b>	<b>1.6</b>
<b>TOTAL</b>	<b>2235.7</b>	<b>89.6</b>	<b>2325.3</b>	<b>100</b>

En total se registró una pérdida de 2,325.3 millones de pesos; constituidos en un 96% por daños directos y un 4% en indirectos. El gobierno decidió activar el Fondo para Desastres Naturales (FONDEN) para hacer frente a la emergencia, definiendo así la aportación de las distintas dependencias del ejecutivo federal.

De estos recursos, el gobierno federal estuvo a cargo del 71.2% de las aportaciones, el resto corrió a cargo del gobierno del Estado de Puebla.

Tabla 2.3.1.1-2 Recursos del FONDEN para daños por inundaciones en Puebla (Millones de pesos).

Dependencia	Federal	Estatal	Total	%
SEDESOL	129.3	189.3	318.6	17.16%
SAGAR	34	14.6	48.6	2.62%
SCT	582.6	286.4	869	46.80%
SEMARNAP	8.2	8.2	16.4	0.88%
SEP	0	0	0	0.00%
SS	5	0	5	0.27%
SEDENA	1.2	0	1.2	0.06%
CFE	476.9	0	476.9	25.69%
CNA	50.3	38.1	88.4	4.76%
IMSS-SOLIDARIDAD	23.8	0	23.8	1.28%
DICONSA	8.8	0	8.8	0.47%
<b>Total</b>	<b>1320.1</b>	<b>536.6</b>	<b>1856.7</b>	<b>100.00%</b>
<b>Participación</b>	<b>71%</b>	<b>29%</b>	<b>100%</b>	

Fuente: CENAPRED con información de la Secretaría de Gobernación, en "Distribución por Estado de los apoyos para atender, a través de FONDEN, lluvias e inundaciones de Septiembre-Octubre 1999, ENERO 28, 2000".

### 2.3.2. Inundaciones en 2002

Los fenómenos relativos a lluvias e inundaciones registradas en el año 2002 causaron el 93.9% del total de las pérdidas en México (10,544 millones), 52 muertes, 139 mil viviendas resultaron afectadas por algún tipo de daño, 3,464 escuelas se vieron perturbadas y un aproximado de 5.8 millones de personas presentaron alguna afectación directa.

Los estados que se vieron más afectados por las lluvias e inundaciones fueron: Chiapas, Hidalgo, Puebla, Tamaulipas y Zacatecas.

Sin embargo, Yucatán y Campeche presentaron alrededor del 84.5% de las pérdidas registradas, pues mostraron entre 4 o 5 ocurrencias destructivas a causa del huracán Isidore.

Tabla 2.3.2 Principales lluvias e inundaciones ocurridas durante el año 2002

Localización	Fenómeno	Muertos	Población afectada	Viviendas dañadas	Escuelas	Área de cultivo dañada y/o pastizales (h)	Caminos afectados (km)	Total de daños (millones de pesos)
Sinaloa	Lluvias torrenciales	-	-	-	-	20,000	-	69
Tlaxcala	Lluvias torrenciales	-	115	60	-	-	-	12
Nuevo León	Lluvias torrenciales	-	3,500,000	-	-	-	-	50
San Luis Potosí	Rompimiento de la presa la "Ventilla"	9	2,250	1,388	-	145	-	9
Zacatecas	Rompimiento de la presa "El Capulín"	3	50,000	590	3	13,000	810	188
Durango	Lluvias torrenciales	-	10,000	2,000	-	-	-	10
Yucatán	Efectos del Huracán "Isidore"	3	1,380,000	83,500	2,631	164,100	813	6,535
Campeche	Efectos del Huracán "Isidore"	1	309,532	6,181	454	102,578	378	2,342
Nayarit	Efectos del Huracán "Kenna"	2	374,500	33,347	375	203,434	741	915
Jalisco	Efectos del Huracán "Kenna"	-	151,452	97	1	-	-	330
	<b>TOTAL</b>	<b>18</b>	<b>5,777,849</b>	<b>127,163</b>	<b>3,464</b>	<b>503,257</b>	<b>2,742</b>	<b>10,460</b>

Fuente: CENAPRED, Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2002, p. 15.

Durante el año 2002 los fenómenos más trascendentes por efectos destructivos y naturales fueron tres: el colapso de dos presas en los estados de San Luis Potosí y Zacatecas, y los huracanes Isidore y Kenna, afectando los estados de Yucatán, Campeche y Nayarit, Jalisco respectivamente.

### 2.3.2.1. Inundaciones en 2003

En el año 2003 se registraron múltiples inundaciones de amplia dimensión que afectaron diversos estados de la República: Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Veracruz y Zacatecas.

Los daños totales alcanzaron un aproximado de 2,359 millones de pesos; siendo el estado de Guanajuato el más afectado, seguido por Jalisco. En todos los estados perturbados, la magnitud de los daños supero ampliamente el apoyo brindado por parte del FONDEN.

Tabla 2.3.2.1 Resumen de los daños en los 6 estados.

Estados	(Millones de pesos)		Total
	Daños Directos	Daños Indirectos	
Jalisco	259.50	313.70	573.20
Guanajuato	341.20	655.10	996.30
Michoacán	106.30	120.70	227.00
Nayarit	115.60	40.60	156.20
Zacatecas	69.30	79.00	148.30
Veracruz	95.60	217.70	313.30
<b>Total</b>	<b>987.50</b>	<b>1,426.80</b>	<b>2,414.30</b>

Fuente: CENAPRED, Impacto Socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2003, p 50.

El sector agrícola fue de los más afectados, seguido por el sector de comunicaciones y transportes; además, los caminos se vieron gravemente perturbados, pues se registraron daños en los caminos rurales y la caída de puentes.

En el tercer lugar de las afectaciones se sitúan los daños a las viviendas, incluyendo los enseres, con acentuación en los estados de Guanajuato, Michoacán y Zacatecas.

### 2.3.2.2. Guanajuato

Las lluvias torrenciales presentadas en el estado de Guanajuato, durante el mes de julio entre los días 10 al 17 de septiembre, fueron la causa para solicitar el día 20 de septiembre de 2003 la Declaratoria de Desastre para 17 municipios del estado. Los daños resultantes superaron la capacidad operativa y financiera del estado junto con sus municipios.

Las lluvias registradas fueron de una intensidad muy fuerte (50 a 70 mm), hasta intensas (mayores de 70 mm) según la clasificación del Servicio Meteorológico Nacional, lo que provoco desbordamientos de diversos ríos: Apaseo el Grande, La Laja, Lerma, Turbio, diversos arroyos, canales y drenes del Distrito de Riego No. 11 (Alto Lerma) ocasionando inundaciones en gran número de comunidades rurales y diversas cabeceras.

El sector agropecuario fue el que más resintió los perjuicios al acumular casi el 60% del total de los daños, seguido por las afectaciones en las viviendas con un aproximado de 97 millones de pesos.

Tabla 2.3.2.2 Resumen de los daños en el estado de Guanajuato (Miles de pesos)

Concepto	Daños directos	Daños indirectos	Total	Porcentaje del total
<b>Infraestructura social</b>				
Vivienda	\$ 97,039.00		\$ 97,039.00	9.74%
Educación	\$ 3,076.00	\$ 1,781.00	\$ 4,857.00	0.49%
Salud	\$ 434.00	\$ 10,000.00	\$ 10,434.00	1.05%
Infraestructura Hidráulica	\$ 12,033.00		\$ 12,033.00	1.21%
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 112,582.00</b>	<b>\$ 11,781.00</b>	<b>\$ 124,363.00</b>	<b>12.48%</b>
<b>Infraestructura económica</b>				
Sector eléctrico	\$ 1,123.00	\$ 1,100.00	\$ 2,223.00	0.22%
Comunicaciones y transportes	\$ 227,512.00	\$ 38,726.00	\$ 266,238.00	26.72%
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 228,635.00</b>	<b>\$ 38,726.00</b>	<b>\$ 267,361.00</b>	<b>26.83%</b>
<b>Sectores productivos</b>				
Sector agropecuario		\$ 604,617.00	\$ 604,617.00	60.7%
<b>Subtotal</b>		<b>\$ 604,617.00</b>	<b>\$ 604,617.00</b>	<b>60.68%</b>
<b>Total General</b>	<b>\$ 341,217.00</b>	<b>\$ 655,124.00</b>	<b>\$ 996,341.00</b>	<b>100%</b>

Fuente: CENAPRED, op. cit, p.76.

### 2.3.2.3. Jalisco

Entre los días 4 al 7 de septiembre se registraron fuertes lluvias dejando colosales daños en nueve municipios pertenecientes al estado de Jalisco. Las fuertes precipitaciones provocaron grandes avenidas, en particular en la cuenca Lerma-Chápala, lo que dejó como consecuencia que diversos ríos en el estado de Jalisco se desbordaran, al igual que las presas de las regiones: Altos Norte, Altos Sur y Ciénega. Los daños fueron provocados principalmente por los desbordamientos de los ríos: Acatic en Altos del Sur, Ayo, Lagos de Moreno en Altos del Norte, Lerma, Santiago, Tepatitlán, Zula y la Presa Pajaritos de Atotonilco (región Ciénega).

Dicho evento hizo que se emitiera la Declaratoria de Desastres para 15 municipios por parte de la Secretaría de Gobernación. Siendo los municipios Tepatitlán de Morelos, Tototlán y Lagos de Moreno los más afectados.

Los sectores productivos fueron los más dañados, ya que el sector agropecuario acumuló un 54.1% de los daños; seguido por el sector de comunicaciones y transportes con un total de 198.9 millones de pesos, conformado por 194.2 millones de pesos en daños directos.

Tabla 2.3.2.3 Resumen de los daños en el estado de Jalisco (Miles de pesos).

Concepto	Daños directos	Daños indirectos	Total	Porcentaje del total
<b>Infraestructura social</b>				
Vivienda	\$ 5,875.00	\$ 5,218.00	\$ 11,093.00	1.40%
Educación	\$ 2,960.00	\$ 1,773.00	\$ 4,733.00	0.80%
Salud	\$ 1,689.00	\$ 600.00	\$ 2,289.00	0.40%
Infraestructura Hidráulica	\$ 27,520.00		\$ 27,520.00	4.80%
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 38,044.00</b>	<b>\$ 7,591.00</b>	<b>\$ 45,635.00</b>	<b>8.00%</b>
<b>Infraestructura económica</b>				
Sector eléctrico	-	\$ 68.00	\$ 68.00	0.00%
Comunicaciones y transportes	\$ 194,153.00	\$ 4,645.00	\$ 198,798.00	34.70%
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 194,153.00</b>	<b>\$ 4,713.00</b>	<b>\$ 198,866.00</b>	<b>34.70%</b>
<b>Sectores productivos</b>				
Sector agropecuario	\$ 9,320.00	\$ 300,117.00	\$ 309,437.00	54.10%
Comercio e Industria	\$ 17,943.00	No Disp.	\$ 17,943.00	3.10%
Atención a la emergencia	-	\$ 1,280.00	\$ 1,280.00	0.20%
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 27,263.00</b>	<b>\$ 301,397.00</b>	<b>\$ 328,660.00</b>	<b>57.30%</b>
<b>Total General</b>	<b>\$ 259,460.00</b>	<b>\$ 313,701.00</b>	<b>\$ 573,161.00</b>	<b>100%</b>

Fuente: CENAPRED, op. cit, p.111.

### 2.3.2.4. Michoacán

Debido a las intensas lluvias presentadas en el estado de Michoacán el gobierno se vio superado operativa y financieramente, por lo que tuvo que solicitar dos declaratorias de desastres, la primera con fecha del 15 de septiembre correspondiente a 16 municipios y la segunda incluyendo dos más.

La cuenca Lerma-Santiago fue la principal zona afectada, lo que origino el desbordamiento del río Lerma.

Tabla 2.3.2.4 Resumen de daños totales (Miles de pesos).

Concepto	Daños directos	Daños indirectos	Total	Porcentaje del total
<b>Infraestructura social</b>				
Vivienda	\$ 80,344.00		\$ 80,344.00	35.40%
Educación	\$ 1,135.00	\$ 277.00	\$ 1,412.00	0.62%
Salud	\$ 10,403.00		\$ 10,403.00	4.50%
Infraestructura Hidráulica	\$ 9,225.00		\$ 9,225.00	4.00%
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 101,107.00</b>	<b>\$ 277.00</b>	<b>\$ 101,384.00</b>	<b>44.60%</b>
<b>Infraestructura económica</b>				
Comunicaciones y transportes	\$ 3,172.00		\$ 3,172.00	1.30%
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 3,172.00</b>		<b>\$ 3,172.00</b>	<b>1.30%</b>
<b>Sectores productivos</b>				
Sector agropecuario		\$ 120,445.00	\$ 120,445.00	53.00%
<b>Subtotal</b>		<b>\$ 120,445.00</b>	<b>\$ 120,445.00</b>	<b>53.00%</b>
Atención a la emergencia	\$ 2,025.00		\$ 2,025.00	0.89%
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 2,025.00</b>		<b>\$ 2,025.00</b>	<b>0.89%</b>
<b>Total General</b>	<b>\$ 106,304.00</b>	<b>\$ 120,722.00</b>	<b>\$ 227,026.00</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: CENAPRED, op. cit, p.135.

Como se pudo observar en la tabla 2.3.2.4 las pérdidas totales alcanzaron los \$227 millones de pesos entre los sectores de infraestructura social, económica y sectores productivos.

### 2.3.2.5. Nayarit

Lluvias intensas del 6 al 8 de septiembre azotaron al estado de Nayarit, por lo que fue necesario solicitar la Declaratoria de Emergencia el día 12 del mismo mes para siete municipios. En total se emitieron tres declaratorias de emergencia por parte de la Secretaría de Gobernación los días 12, 21 y 24 de septiembre, debido a las lluvias atípicas e impredecibles y a las inundaciones subsecuentes que se presentaron en el estado.

La infraestructura económica del estado fue la que presentó el mayor porcentaje de afectaciones, con un 37.6% en Comunicaciones y transportes; seguido de los daños ocurridos en las viviendas, con un total aproximado de 38.5 millones de pesos; apenas superando los perjuicios en agricultura (21.1%).

Tabla 2.3.2.5 Resumen daños totales (Miles de pesos).

Concepto	Daños directos		Daños indirectos		Total	Porcentaje
<b>Infraestructura Social</b>						
Vivienda	\$	35,520.00	\$	3,000.00	\$ 38,520.00	24.60%
Educación	\$	310.00	\$	-	\$ 310.00	0.20%
Salud	\$	-	\$	4,249.00	\$ 4,249.00	2.70%
Infraestructura hidráulica	\$	12,814.00	\$	-	\$ 12,814.00	8.20%
<b>Subtotal</b>	<b>\$</b>	<b>48,644.00</b>	<b>\$</b>	<b>7,249.00</b>	<b>\$ 55,893.00</b>	<b>35.80%</b>
<b>Infraestructura Económica</b>						
Comunicaciones y Transportes	\$	58,764.00	\$	-	\$ 58,764.00	37.60%
<b>Subtotal</b>	<b>\$</b>	<b>58,764.00</b>	<b>\$</b>	<b>-</b>	<b>\$ 58,764.00</b>	<b>37.60%</b>
<b>Sector Agropecuario</b>						
Pesca	\$	8,125.00	\$	-	\$ 8,125.00	5.20%
Ganadería	\$	80.00	\$	-	\$ 80.00	0.10%
Agricultura	\$	-	\$	32,951.00	\$ 32,951.00	21.10%
<b>Subtotal</b>	<b>\$</b>	<b>8,205.00</b>	<b>\$</b>	<b>32,951.00</b>	<b>\$ 41,156.00</b>	<b>26.30%</b>
Medio Ambiente			\$	460.00	\$ 460.00	0.30%
<b>Subtotal</b>	<b>\$</b>	<b>-</b>	<b>\$</b>	<b>460.00</b>	<b>\$ 460.00</b>	<b>0.30%</b>
<b>Total</b>	<b>\$</b>	<b>115,613.00</b>	<b>\$</b>	<b>40,660.00</b>	<b>\$ 156,273.00</b>	<b>100%</b>

Fuente: CENAPRED, op. cit, p.172.

### 2.3.2.6. Zacatecas

Lluvias torrenciales ocurridas entre los días del 19 al 24 de septiembre en el estado de Zacatecas dieron como resultado grandes inundaciones, por lo que fue necesario solicitar la Declaratoria de Emergencia para diez municipios afectados, pues 10 presas del estado rebasaron su capacidad.

El resultado de este fenómeno fue una afectación de 51.7 millones de pesos en la viviendas; un 53.25% de los daños totales sucedieron en el sector agropecuario. En este estado solo un 9.91% de daños se presentaron en la infraestructura económica, una cifra baja en comparación con los daños en otros estados a causa de inundaciones.

Tabla 2.3.2.6 Resumen de daños (Miles de pesos).

Concepto	Directos	Daños Indirectos	Total	Porcentaje
<b>Infraestructura social</b>				
Vivienda	\$ 51,673.00		\$ 51,673.00	34.84%
Infraestructura educativa	\$ 2,198.00		\$ 2,198.00	1.48%
Infraestructura hidráulica	\$ 770.00		\$ 770.00	0.52%
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 54,641.00</b>		<b>\$ 54,641.00</b>	<b>36.84%</b>
<b>Infraestructura económica</b>				
Comunicaciones y transportes	\$ 14,700.00		\$ 14,700.00	9.91%
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 14,700.00</b>		<b>\$ 14,700.00</b>	<b>9.91%</b>
<b>Sectores productivos</b>				
Sector agropecuario		\$ 78,994.00	\$ 78,994.00	53.25%
<b>Subtotal</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 78,994.00</b>	<b>\$ 78,994.00</b>	<b>53.25%</b>
<b>Total</b>	<b>\$ 69,341.00</b>	<b>\$ 78,994.00</b>	<b>\$ 148,335.00</b>	<b>100%</b>

Fuente: CENAPRED, op. cit, p. 202.

### 2.3.2.7. Veracruz

El estado de Veracruz se vio afectado en 91 municipios: 33 de la Zona Norte, 16 del Centro, 19 de la Cuenca y 23 de la Zona Sur; por lo que la Secretaría de Gobernación emitió 8 Declaratorias de Desastre. Esto se debió por fuertes lluvias que azotaron al estado durante el mes de septiembre y noviembre, además de la presencia de la Tormenta Tropical “Larry” durante el mes de octubre.

Dichos fenómenos meteorológicos provocaron el desbordamiento de ríos, deslaves y el derrumbe de puentes. Los principales ríos desbordados fueron: Calabozo, Chogoyo, Nautla (que llegó dos metros arriba de su nivel crítico), San Juan, Tecolutla, Tepango y varios arroyos. Los puertos del Golfo de México vieron interrumpidas sus actividades debido a los fuertes vientos ocasionados por las lluvias, hecho que generó grandes pérdidas en el sector pesquero (63% del daño total).

Tabla 2.3.2.7 Resumen de daños (Miles de pesos).

Concepto	Daños directos	Daños indirectos	Total	Porcentaje del total
<b>Infraestructura social</b>				
Vivienda	\$ 20,631.00	\$ -	\$ 20,631.00	8
Salud	\$ 2,419.00	\$ -	\$ 2,419.00	0.9
Infraestructura Hidráulica	\$ 12,820.00	\$ -	\$ 12,820.00	5
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 35,870.00</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 35,870.00</b>	<b>13.9</b>
<b>Infraestructura económica</b>				
Sector eléctrico	\$ 2,310.00	\$ -	\$ 2,310.00	0.9
Comunicaciones y transportes	\$ 57,334.00	\$ -	\$ 57,334.00	22.2
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 59,644.00</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 59,644.00</b>	<b>23.1</b>
<b>Sectores productivos</b>				
Sector agropecuario	\$ 39.00	\$ 162,518.00	\$ 162,557.00	63
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 39.00</b>	<b>\$ 162,518.00</b>	<b>\$ 162,557.00</b>	<b>63</b>
<b>Total General</b>	<b>\$ 95,553.00</b>	<b>\$ 162,518.00</b>	<b>\$ 258,071.00</b>	<b>100</b>

Fuente: CENAPRED, op. cit, p.247.

### 2.3.3. Inundaciones en 2007

El Año 2007 fue el peor en referencia a pérdidas económicas en México, esto debido a catástrofes de origen hidrometeorológico. El aumento en los daños por siniestros de origen natural se debió a: grandes inundaciones, lluvias y ciclones tropicales. Lo anterior ocasionó 53 muertes, principalmente por los huracanes Dean, Henriette y Lorenzo.

Tabla 2.3.3-1 Resumen estatal de daños ocasionados por ciclones tropicales, lluvias e inundaciones ocurridos en el 2007.

Estado	Muertos	Población afectada *	Viviendas dañadas	Escuelas	Hospitales o centros de salud	Área de cultivo dañada y/o pastizales (h)	Caminos afectados (km)	Total de daños (mill pesos)
Colima	0	76	0	0	0	0	0	0
Chihuahua	4	38,148	0	0	0	0	0	0
Zacatecas	0	16	0	0	0	0	0	0
Baja California	0	32	5	0	0	0	0	0
Morelos	0	111	22	1	0	0	0	0
Distrito Federal	2	72	21	0	0	0	0	0
Estado de México	0	1,000	200	0	0	0	0	0
Coahuila	1	609	117	0	0	0	0	1
Querétaro	0	629	120	0	0	0	0	1
Aguascalientes	0	175	35	0	0	0	0	1
Michoacán	2	2,061	106	0	0	2,605	0	2
Guanajuato	2	2,525	1392	1	0	26	0	24
Tlaxcala	0	25,945	39	0	0	0	0	70
Jalisco	1	7,526	1207	3	0	0	0	92
Oaxaca	0	956	200	2	0	0	0	104
Yucatán	0	0	0	0	0	5,104	0	142
Nuevo León	0	0	64	0	0	9	0	151
Tamaulipas	5	22,009	4054	2	0	5,191	0	175
Guerrero	6	4,638	2686	107	0	0	0	193
Sinaloa	0	60,040	sd	0	0	0	0	202
Campeche	0	25,455	5091	241	26	23,169	2085	211
Sonora	2	85,085	1763	109	0	0	0	362
San Luis Potosí	3	15,859	5	0	0	3,439	0	392
Baja California Sur	1	57,000	2200	0	0	0	254	443
Puebla	16	48,260	9539	350	60	51,153	1036	1,327
Quintana Roo	0	98,205	19641	292	58	55,363	1269	2,338
Hidalgo	3	14,673	762	218	52	37,070	2357	2,526
Chiapas	0	755,849	5660	130	0	113,095	2444	3,863
Veracruz	5	135,768	44856	107	71	201,686	2545	4,033
Tabasco	0	1,504,218	124250	3,876	253	93,319	6485	32,517
<b>Total</b>	<b>53</b>	<b>2,906,940</b>	<b>224035</b>	<b>5,439</b>	<b>529</b>	<b>591,220</b>	<b>18474</b>	<b>49,168</b>

\*Se refiere a personas evacuadas, lesionadas o desaparecidas .

Fuente: CENAPRED, op. cit, p.21.

El sureste de la República fue la parte más afectada dichos fenómenos, pues ahí se generó el 88.3% de los daños totales. Sin embargo, fue en la parte central donde se registró el mayor número de defunciones.

Tabla 2.3.3-2 Resumen regional de daños ocasionados por ciclones tropicales, lluvias e inundaciones ocurridas en el 2007.

Región	Muertos	Población afectada (personas *)	Total de daños (millones de pesos)	Porcentaje del total de daños
Centro	21	90,061	3,922.90	8
Centro Occidente	8	28,867	511.3	1
Noreste	10	60,766	326	0.7
Noroeste	3	202,157	1,006.80	2
Sureste	11	2,525,089	43,400.90	88.3
<b>Total</b>	<b>53</b>	<b>2,906,940</b>	<b>49,167.80</b>	<b>100</b>

\*Se refiere a personas evacuadas, lesionadas o desaparecidas.

Fuente: CENAPRED, op. cit, p. 22.

### 2.3.3.1. Tabasco

Durante el mes de septiembre y octubre se registraron lluvias atípicas en los estados de Chiapas, Veracruz y Tabasco, que en conjunto con el Frente Frío No. 4 y una baja presión asociada a la Tormenta Tropical "Noel" generaron intensas lluvias a partir del día 22 de octubre sobre el área de Chiapas y Tabasco, además de abarcar diversas islas del Caribe y países centroamericanos.

Las inundaciones fueron severas, extraordinarias y en gran parte no previsible, afectando gravemente al estado de Tabasco, evento que superó en intensidad y magnitud los antes sufridos. Las intensas lluvias y subsecuentes inundaciones, acontecidas del 22 al 29 de octubre, causaron calamidades inéditas en el estado, contrastando con las bajas cifras de defunciones (ninguna con relación directa al fenómeno).

El desastre ocasiono que un 62% de la superficie estatal se inundara, dejando a casi 1.5 millones de damnificados en alrededor de 1,500 localidades (en su mayoría rurales) y 123 mil viviendas con daños.

En conjunto los daños y pérdidas generados por el fenómeno alcanzaron los 31.8 millones de pesos; cifra solo superada por las pérdidas generadas en los sismos de la ciudad de México en 1985 y los efectos acumulados de los huracanes Wilma y Stan en 2005. Pero hay que tomar en cuenta que esta vez el incidente ocurrió en un solo estado.

Tabla 2.3.3.1 Tabasco resumen de daños (En millones de pesos).

Concepto	Daños	Pérdidas	Total	Proporción Porcentaje
Millones de pesos				
<b>Agricultura *</b>	<b>950.3</b>	<b>7,962.20</b>	<b>8,912.50</b>	<b>27.96</b>
Actividad agrícola		7,445.90	7,445.90	
Actividad pecuaria	480.6	287.9	768.5	
Pesca y acuicultura	467.4	222	689.4	
Actividad silvícola	2.3	6.4	8.7	
<b>Otros sectores productivos</b>	<b>7,195.80</b>	<b>3,350.80</b>	<b>10,546.60</b>	<b>33.09</b>
Comercio	3,387.80	1,908.20	5,296.00	
Industria manufacturera y construcción	1,128.70	458.6	1,587.30	
Servicios	2,508.10	875.4	3,383.50	
Turismo y restaurantes	171.2	108.6	279.8	
<b>Total sectores sociales</b>	<b>4,050.36</b>	<b>1,923.20</b>	<b>5,973.56</b>	<b>18.74</b>
Vivienda	2,526.26	20	2,546.26	
Salud	687.6	1,396.20	2,083.80	
Educación	682.6	446	1,128.60	
Cultura	153.9	61	214.9	
<b>Total infraestructura</b>	<b>5,522.70</b>	<b>159.2</b>	<b>5,681.90</b>	<b>17.83</b>
Carreteras	3,895.10	10.1	3,905.20	
Puertos	19.5		19.5	
Energía		48	48	
Agua y saneamiento	408.1	101.1	509.2	
Obras hidráulicas	1,200.00		1,200.00	
<b>Medio ambiente</b>	<b>63.8</b>	<b>98.7</b>	<b>162.5</b>	<b>0.51</b>
<b>Daños y pérdidas de las mujeres</b>	<b>20.5</b>	<b>26.3</b>	<b>46.8</b>	<b>0.15</b>
Actividad en el hogar (traspato)	4.4		4.4	
Acervo en vivienda para actividad microempresarial	16.1	26.3	42.4	
<b>Atención de la emergencia</b>	<b>-</b>	<b>547.4</b>	<b>547.4</b>	<b>1.72</b>
<b>Total general</b>	<b>17,803.46</b>	<b>14,067.80</b>	<b>31,871.26</b>	

\*No incluye las actividades de traspato.

Fuente: CENAPRED, op. cit, p.283.

Como se ha observado, en los últimos años la magnitud de las inundaciones ha ido en aumento, por lo que es necesario prevenir las posibles afectaciones; es decir, tener una cultura de prevención para poder contrarrestar los daños que generan este tipo de fenómenos.

Aunque es cierto que no siempre es posible evitar un riesgo convirtiéndose en un peligro, podemos limitar su influencia y evitar o minimizar las posibles pérdidas, de ahí la importancia del análisis de la medición de los riesgos asociados a este tipo de fenómenos naturales.

En el siguiente capítulo, se revisarán metodologías utilizadas en el análisis del riesgo por inundación, trabajo realizado por diversas instituciones.

### 3. Análisis del Riesgo

Las inundaciones son fenómenos meteorológicos de difícil cálculo debido a su naturaleza estocástica. En los últimos años se ha hecho más frecuente escuchar que este tipo de fenómenos ha generado grandes pérdidas, debido al aumento de su fuerza, magnitud y presencia.

En México no existe un seguro contra inundación como producto individual, para conseguir la cobertura es necesario contratarla en conjunto con otras; pero la evolución del fenómeno hace ver que ya no es posible manejar el riesgo contra inundación dentro de un conjunto, que su naturaleza puede y debe ser manejada de manera individual.

Diversas instituciones realizan estudios y análisis sobre el riesgo que implican las inundaciones. En este capítulo se enuncian algunas de estas metodologías.

#### 3.1. Metodología de la CNSF<sup>9</sup>

La CNSF tiene sus fundamentos técnicos para un seguro contra daños producidos por fenómenos hidrometeorológicos. Este es el análisis que describe las variables consideradas en la definición del peligro por inundación.

El peligro de inundación por exceso de lluvia se encuentra relacionado directamente con la precipitación pluvial en la cuenca donde se ubica el bien asegurado y las características de la topografía del terreno circundante. La secuencia metodológica del sistema de estimación del riesgo por inundación divide la evaluación del peligro en un análisis hidrológico y en otro hidráulico.

---

<sup>9</sup> Comisión Nacional de Seguros y Fianzas, Circular S-10.4.1.1

## **Análisis hidrológico**

Incluye el estudio de la precipitación en la cuenca donde se localiza el inmueble asegurado y su relación con el escurrimiento que habrá de concentrarse en las obras de drenaje o las corrientes naturales.

## **Análisis hidráulico**

Hace referencia al comportamiento en el tiempo del caudal obtenido en el análisis hidrológico, al transitar por el drenaje o las cuencas fluviales.

## **Cantidad de precipitación en una cuenca**

Dado un escenario de lluvia, se calcula la esperanza matemática de las alturas de precipitación.

$$P_m = \frac{1}{A} \int_A P(x, y) dA$$

$P(x, y)$  = Precipitación por unidad de área.

$A$  = Área de la cuenca analizada.

## **Escenarios o eventos**

Para poder realizar correctamente los cálculos de las distribuciones de probabilidad de pérdida se debe recurrir al concepto de “evento”. Los eventos están constituidos por el paso de huracanes, tormentas y otras amenazas.

## **Vulnerabilidad**

Se define como la susceptibilidad o propensión de los inmuebles expuestos a ser dañados por el efecto de un peligro o amenaza. Se expresa en términos del valor de reparación del daño causado a un sistema expuesto, normalizado con respecto al costo de la reconstrucción total; por lo que la función de vulnerabilidad toma valores entre cero y uno.

### 3.1.1. Daño esperado dada la intensidad

Para inmuebles de un solo nivel, el valor esperado de daño por inundación es la siguiente función:

$$(*) \quad E(\beta|T) = aT^3 + bT^2 + cT$$

Donde,

$T[m]$ : tirante de inundación para el sitio analizado.

$a, b, c$ : constantes que definen la función para diferentes tipos de usos

Para inmuebles de varios niveles, se extrapola la función de daño anterior, suponiendo que los valores y la densidad de contenidos se mantendrán constantes con el número de niveles y para cualquier tirante de inundación.

$$E(\beta|IT) = \frac{\delta_{N1\max} (N_{st} - 1) + \delta_{N1T}}{N_T}$$

donde,

$\delta_{N1\max}$  : Daño calculado usando (\*) para tirante máximo.

$\delta_{N1T}$  : Daño calculado con la misma ecuación para un tirante  $T$  sobre los niveles completamente inundados.

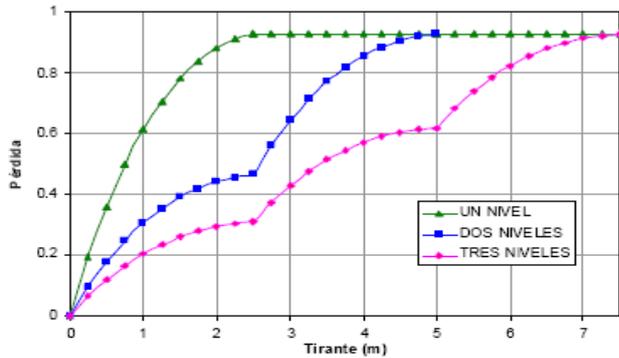
$N_T$  : Número total de niveles.

$N_{st}$  : Nivel donde se encuentra la superficie de inundación del agua.

Esta ecuación tiene como límite de aplicación la altura máxima del inmueble y a partir de este valor la pérdida es constante, esto es la pérdida que se espera es en función al nivel de pisos con que cuenta la infraestructura en cuestión, pues hasta que se

cuadra el 100% de afectación de los primeros niveles se accederá a los siguientes y por consecuente a realizar la evaluación de la vulnerabilidad.

Ejemplo



Función de vulnerabilidad ante inundación para un hotel tipo de uno, dos y tres niveles.

### 3.1.2. Densidad de probabilidad del daño en una edificación

Las relaciones de vulnerabilidad no son deterministas, por lo que un supuesto es que, dada una intensidad de inundación, el daño bruto  $\beta$  es una variable aleatoria cuya esperanza (valor medio) está dado por las ecuaciones anteriores. La densidad de probabilidades del daño en la estructura se supondrá de tipo Beta, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$P_{\beta}(\beta) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} \beta^{a-1} (1-\beta)^{b-1}$$

Donde  $a$  y  $b$  son parámetros calculados a partir de la media y el coeficiente de variación del daño,  $C(\beta)$

$$a = \frac{1 - E(\beta) - E(\beta)C^2(\beta)}{C^2(\beta)}$$

$$b = a \left[ \frac{1 - E(\beta)}{E(\beta)} \right]$$

$$C^2(\beta) = \frac{\sigma_{\beta}^2(\beta)}{E^2(\beta)}$$

donde,

$\sigma_{\beta}^2$  = varianza de la pérdida

$$\sigma_{\beta}^2 = Q(E(\beta))^{r-1} (1 - E(\beta))^{s-1}$$

$$Q = \frac{V_{\max}}{D_0^{r-1} (1 - D_0)^{s-1}}$$

$$s = \frac{r-1}{D_0} - r + 2$$

donde:

$V_{\max}, D_0, r$  : *Parámetros que dependen del tipo de estructura.*

$V_{\max}$  : *Varianza máxima.*

$D_0$  : *Nivel del daño para el que ocurre esta varianza máxima.*

### 3.2. Metodología del CENAPRED<sup>10</sup>

Debido a las consecuencias catastróficas del sismo de 1985, en México surgieron diversas iniciativas para crear una institución que estudiará los aspectos técnicos de la prevención de desastres.

Por un lado, el Gobierno Federal emprendió la tarea de establecer el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC). Por otra parte, el Gobierno de Japón ofertó su apoyo para mejorar los conocimientos existentes en relación con la prevención de desastres sísmicos.

Finalmente, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) decidió impulsar a su personal académico de alto nivel para que se dedicase a actividades de investigación y desarrollo en prevención de desastres.

Las tres iniciativas concurrieron en la creación del Centro Nacional de Prevención de Desastres, CENAPRED el 20 de septiembre de 1988, con carácter de órgano administrativo desconcentrado, jerárquicamente subordinado a la Secretaría de Gobernación. Con el apoyo económico y técnico del Japón se construyeron las instalaciones del Centro; la UNAM aportó el terreno para su construcción y proporciona personal académico y técnico especializado. La Secretaría de Gobernación provee los recursos para su operación.

---

<sup>10</sup>Centro Nacional de Prevención de Desastres Antecedentes, (fecha de consulta 07-07-2015). Disponible en: <http://www.CENAPRED.gob.mx/es/dirQuienesSomos/Antecedentes/>

Para revisar la metodología<sup>11</sup>, es necesario tener en cuenta los siguientes conceptos:

### **Menaje o enseres**

Es la medición de la vulnerabilidad por inundación manejada por el CENAPRED, relacionada con los bienes que posee la población dentro de sus viviendas.

### **Tipología de la vivienda**

La vulnerabilidad de una vivienda está en relación con los materiales con los cuales está construida.

### **Materiales en muros y techos**

A continuación se enuncia la lista de materiales más utilizados en la construcción de muros y techos en el país:

Tabla 3.2-1 Material en muros de viviendas.

<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
M1	Cartón o plástico
M2	Piedra
M3	Láminas de cartón
M4	Bahareque
M5	Adobe sin repellido
M6	Madera
M7	Adobe de repellido
M8	Mampostería sin elementos de concreto
M9	Mampostería con elementos de concreto

Tabla 3.2-2 Material en techos de viviendas.

<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
T1	Cartón o plástico
T2	Lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada)
T3	Palma
T4	Teja
T5	Losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla
T6	Losa de concreto ligada

<sup>11</sup> Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED, Salas Salinas Marco Antonio, Jiménez Espinosa y García Arróliga Norlang: Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, p.181-246.

En general, la gran mayoría de las viviendas son el resultado de alguna de las combinaciones entre las tablas de materiales en techos y muros antes mencionados; sin embargo, no se descarta la posibilidad de encontrar otros materiales, pero el tratamiento debe ser específico y posteriormente evaluarse, para finalmente definir su correspondiente vulnerabilidad.

### Descripción de las combinaciones de los materiales utilizados en techo y muros

Tabla 3.2-3 Combinación de los materiales usados en techos y muros.

Combinación	Combinaciones entre tipo de material para techo y muros.
1	Vivienda con muros de cartón o plástico y techo de cartón o plástico.
2	Vivienda con muros de piedra sobre piedra y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada).
3	Vivienda con muros de piedra sobre piedra y techo de palma.
4	Vivienda con muros de lámina de cartón y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada).
5	Vivienda con muros de bahareque y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada).
6	Vivienda con muros de bahareque y techo de palma.
7	Vivienda con muros de adobe sin repellido y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada).
8	Vivienda con muros de adobe sin repellido y techo de palma.
9	Vivienda con muros de adobe sin repellido y techo de teja.
10	Vivienda con muros de madera y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada).
11	Vivienda con muros de madera y techo de palma.
12	Vivienda con muros de adobe con repellido y techo de lámina (cartón, plástico, asbestos o galvanizada).
13	Vivienda con muros de adobe con repellido y techo de palma.
14	Vivienda con muros de adobe con repellido y techo de paja.
15	Vivienda con muros de adobe con repellido y techo de losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla.
16	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada).
17	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de palma.
18	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de paja.
19	Vivienda con muros de mampostería sin elementos de concreto y techo de losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla.
20	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de lámina (cartón, plástico, asbesto o galvanizada).
21	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de palma.
22	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de paja.
23	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de losa de concreto sobrepuesta o vigueta y bovedilla.
24	Vivienda con muros de mampostería con elementos de concreto y techo de losa de concreto ligada.

### 3.2.1. Índice de vulnerabilidad

Las viviendas podrán clasificarse en cinco niveles de acuerdo con el material y tipo de construcción, para poder inferir su capacidad de respuesta ante una inundación.

Tabla 3.2.1-1 Índice de vulnerabilidad según el tipo de vivienda

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

Tabla 3.2.1-2 Clasificación del tipo de vivienda, según el material utilizado en techo y muros.

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

### 3.2.2. Funciones de vulnerabilidad para el menaje de casa

Para estimar las funciones de vulnerabilidad para cada tipo de vivienda se propone una serie de configuraciones de muebles y enseres menores; posteriormente se lleva a cabo una cuantificación del porcentaje de los daños ocasionados en cada caso, en función del nivel que alcance el agua que entra en la casa.

#### **Vivienda tipo I**

Este tipo corresponde a los hogares más humildes, una vivienda consta de un sólo cuarto multifuncional, construido con material de desecho. Asimismo, el menaje es el mínimo indispensable.

#### **Vivienda tipo II**

El segundo tipo corresponde a hogares que pueden ser clasificados como de clase baja, donde la vivienda puede ser descrita como una vivienda de autoconstrucción o viviendas construidas con materiales de la zona, la mayoría de las veces sin elementos estructurales. Con respecto al menaje, la hipótesis es que las diferentes habitaciones cuentan con sus muebles propios y están más o menos definidas.

#### **Vivienda tipo III**

El tercer tipo de viviendas también puede ser clasificado como clase - baja, similar al tipo II, pero con techos más resistentes, construida la mayoría de las veces sin elementos estructurales.

El menaje corresponde al necesario para las diferentes habitaciones, como en el anterior nivel; sin embargo, se consideran de mayor calidad y por lo tanto un mayor costo.

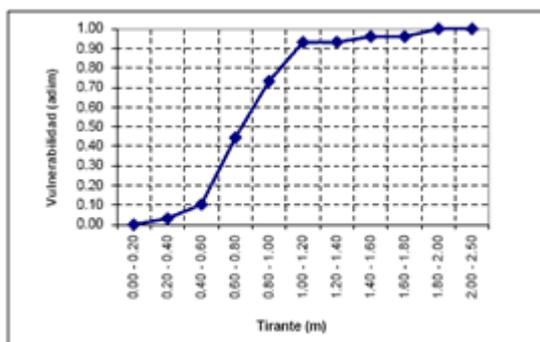
## Vivienda tipo IV

El cuarto tipo de viviendas se identifica como la típica para la clase media, es decir, puede ser equiparada con una vivienda de interés social, construida la mayoría de las veces con elementos estructurales. El menaje que se ha seleccionado corresponde con el de una casa típica de una familia de profesionistas que ejercen su carrera y viven sin complicaciones económicas.

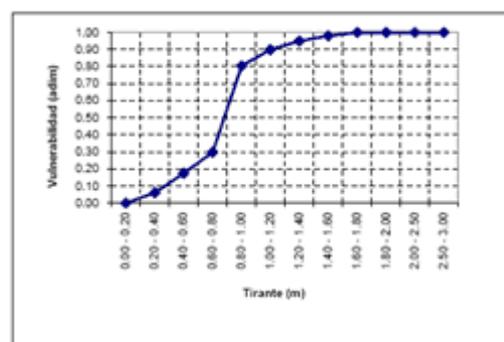
## Vivienda tipo V

Finalmente, el último sector de viviendas, corresponde al tipo residencial, construida con acabados y elementos decorativos que incrementan sustancialmente su valor. El menaje está formado por artículos de buena calidad y con muchos elementos de comodidad.

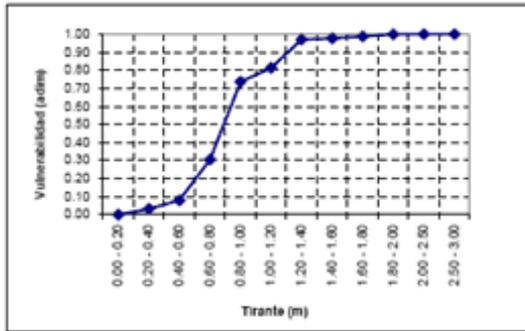
Para cada caso se presenta sobre el eje de las abscisas (x) el nivel alcanzado por el agua (tirante), en metros, mientras que en el eje de las ordenadas (y) el valor corresponde al porcentaje de daños esperados en la vivienda.



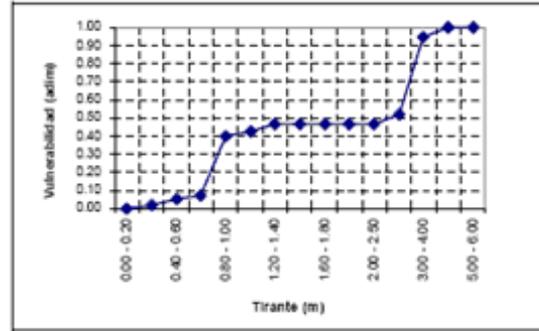
*Función de vulnerabilidad para vivienda tipo I*



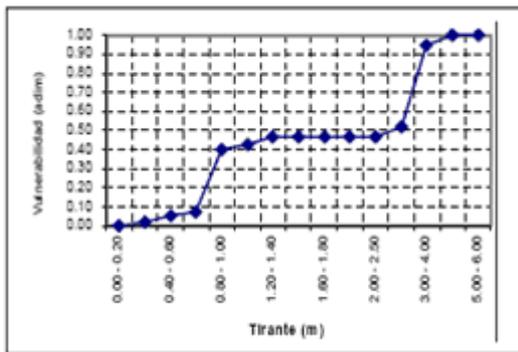
*Función de vulnerabilidad para vivienda tipo II*



*Función de vulnerabilidad para vivienda tipo III*



*Función de vulnerabilidad para vivienda tipo IV*



*Función de vulnerabilidad para vivienda tipo V*

Tabla 3.2.2 Cuantificación del menaje por tipo de vivienda.

Tipo de vivienda	Cuantificación del menaje (\$)
I	\$ 12,500.00
II	\$ 50,000.00
III	\$ 150,500.00
IV	\$ 300,000.00
V	\$ 450,000.00

Fuente: Elaboración propia con datos del CENAPRED.

### 3.2.3. Riesgo

El riesgo en general está dado por la expresión:

$$R = C * V * P$$

donde:

*C*: es el valor de los bienes expuestos.

*V*: es la vulnerabilidad o el porcentaje de daños de una vivienda por efecto de una inundación.

*P*: es el peligro o la probabilidad de que ocurra un hecho potencialmente dañino.

Como se puede ver, tanto la vulnerabilidad como el peligro son adimensionales, por lo que las unidades del riesgo serán las del valor de los bienes expuestos, que generalmente están dadas en unidades monetarias, en nuestro caso pesos.

### 3.3. Ley de Fuga (Modelo Poisson – exponencial)<sup>12</sup>

La ley de Fuga tiene su origen en diversos estudios de series cronológicas de eventos separados por duraciones aleatorias.

Las principales hipótesis de esta ley son:

- Estacionalidad, es decir, las particularidades estadísticas del evento no cambian en el tiempo.
- Independencia entre los eventos.

Esta ley utiliza una distribución Poisson, para simbolizar la probabilidad de ocurrencia de un evento en conjunto con una distribución exponencial que modela la magnitud media del fenómeno en cuestión.

#### 3.3.1. Distribución Poisson

Simeón Denis Poisson (1781 – 1840) fue un matemático, astrónomo y físico francés, alumno de Lagrange y Laplace, creador de un gran número de trabajos sobre la teoría de las probabilidades, aplicando estos trabajos a problemas de índole política, económica, de jurisprudencia y legislación.

Es en su libro *Recherches sur la probabilité des jugements en matières criminelles et matière civile* (Investigación sobre la probabilidad de los juicios en materias criminales y civiles) publicado en 1937 que dio a conocer la probabilidad que lleva su nombre; poniendo especial énfasis en los trabajos de Laplace y Condorcet, pues hasta entonces se suponía y daba por cierto que en situaciones donde la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno ( $p$ ) es muy pequeña, mientras que el número de “intentos o pruebas” es muy grande, es muy costoso el intentar resolver una distribución binomial, por lo que se aproximaba con una distribución normal.

---

<sup>12</sup> DE LA CRUZ Bartolón, Jesús; Tesis de Maestría, UNAM, Facultad de Ingeniería, Formulación del riesgo conjunto, inundación-sequía, bajo un esquema probabilístico, aplicado a la Región Hidrológica Nazas-Aguanaval (RH-36), p. 66-98.

En 1836 Poisson obtiene un importante resultado, descubriendo la Ley de Poisson (o Ley de los Pequeños Números según Bortkiewicz), pues si  $p$  difiere considerablemente de 0.5, la normal no es una buena aproximación.

Con su trabajo demuestra la aproximación de la distribución Binomial por la distribución Poisson y generaliza la Ley de los Grandes Números.

L. Bortkiewicz descubre que esta distribución puede ser aplicada a eventos raros, puesto que al ser una variable discreta, es una variable de conteo que representa la frecuencia esperada del fenómeno modelado.

La principal característica de esta distribución es que tanto su valor esperado o esperanza y varianza son iguales a su parámetro.

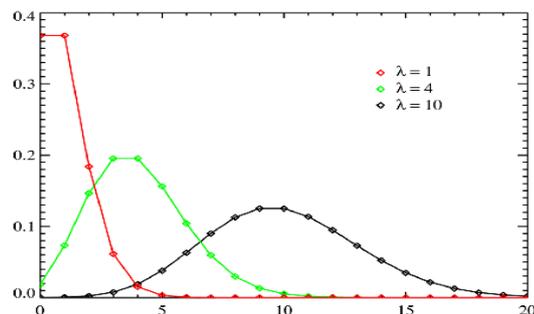
### 3.3.1.1. Función de Distribución de Probabilidad Poisson

Sea  $p$  la probabilidad de ocurrencia de cierto fenómeno o evento y  $n$  número de veces que ocurre el evento.

$\lambda$  (Lambda) =  $n \cdot p$  el parámetro de la distribución.

Se dice que  $X$  variable aleatoria (variable aleatoria) se distribuye Poisson ( $\lambda$ ) si su función de densidad de probabilidad (fdp) es:

$$P(x = X) = \lambda^x \frac{e^{-\lambda}}{x!}, \quad x \in \{0, 1, 2, 3, \dots\}$$



### 3.3.1.2. Esperanza de la Distribución Poisson

Sea  $X$  variable aleatoria, su esperanza, media o valor esperado es un promedio de los valores que ésta puede tomar, donde cada valor es ponderado por la probabilidad de que  $X$  obtenga dicho valor:

$$\begin{aligned} E(X) &= \sum_{x=0}^{\infty} x \cdot f(x) = \sum_{x=0}^{\infty} x \cdot \lambda^x \frac{e^{-\lambda}}{x!} \\ &= e^{-\lambda} \cdot \sum_{x=0}^{\infty} \lambda^x \frac{x}{x!} \end{aligned}$$

Utilizando el desarrollo de Taylor-Mc Laurin para la función  $f(x)$  definida como:

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{f^{(k)}(0)}{k!} \cdot x^k$$

Al aplicarlo con la función exponencial se obtiene el resultado:

$$\begin{aligned} &= e^{-\lambda} \cdot \sum_{x=1}^{\infty} \frac{\lambda^{x-1} \lambda}{(x-1)!} \\ &= \lambda e^{-\lambda} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\lambda^k}{k!} \quad \text{con } k = x - 1 \\ e^x &= \sum_{k=0}^{\infty} \frac{x^k}{k!} \end{aligned}$$

Sustituyendo el resultado anterior (Taylor-Mc Laurin con la exponencial) en el desarrollo de la esperanza de la Poisson se obtiene:

$$\begin{aligned} E(X) &= \lambda e^{-\lambda} e^{\lambda} \\ &= \lambda \end{aligned}$$

### 3.3.1.3. Varianza de la Distribución Poisson

La varianza de una variable aleatoria es una medida del grado de dispersión de los posibles valores que puede obtener la variable con respecto a su media.

$$\text{Var}(X) = E(X^2) - E^2(X)$$

Para obtener la varianza de la distribución Poisson es necesario encontrar el segundo momento de la distribución:

$$\begin{aligned} E(X^2) &= \sum_{x=0}^{\infty} x^2 \cdot f(x) \\ &= \sum_{x=0}^{\infty} x^2 \cdot \lambda^x \frac{e^{-\lambda}}{x!} \\ &= e^{-\lambda} \left\{ \sum_{x=2}^{\infty} \lambda^x \frac{(x^2 - x)}{x!} + \sum_{x=0}^{\infty} x \cdot \frac{\lambda^x}{x!} \right\} \end{aligned}$$

El segundo término de la expresión anterior es  $E(X)$ , por lo que la ecuación se reescribe como:

$$= e^{-\lambda} \cdot \sum_{x=2}^{\infty} \frac{\lambda^x}{(x-2)!} + \lambda$$

Y utilizando el desarrollo de Taylor-Mc Laurin es posible llegar a una expresión para el segundo momento:

$$\begin{aligned} &= e^{-\lambda} \cdot \lambda^2 \cdot \sum_{x=2}^{\infty} \frac{\lambda^{x-2}}{(x-2)!} + \lambda \\ &= e^{-\lambda} \cdot \lambda^2 \cdot \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\lambda^k}{(k)!} + \lambda && \text{con } k = x - 2 \\ &= e^{-\lambda} \cdot \lambda^2 \cdot e^{\lambda} + \lambda \\ &= \lambda^2 + \lambda \end{aligned}$$

Y volviendo a la definición de varianza,

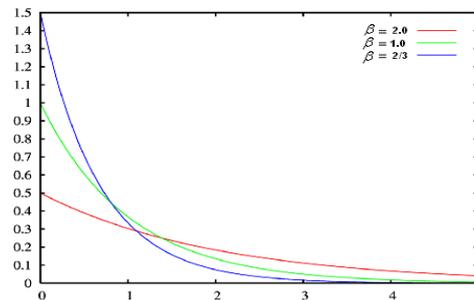
$$\begin{aligned} \text{Var}(X) &= E(X^2) - E^2(X) \\ &= \lambda^2 + \lambda - \lambda^2 \\ &= \lambda \end{aligned}$$

### 3.3.2. Función de distribución de probabilidad exponencial

La función de distribución exponencial es un caso específico de la distribución gama. Ambas funciones tienen diversas aplicaciones, no solo en el ámbito científico y de ingeniería; unos de sus posibles usos están relacionados con la teoría de colas, así como en problemas de confiabilidad y tiempos de interarribo.

Sea  $X$  variable aleatoria. Se dice que  $X$  tiene función de distribución exponencial con parámetro  $(1/\beta)$  si:

$$f(x) = \frac{1}{\beta} e^{-\frac{x}{\beta}}$$



Para toda  $x > 0$ , y  $\beta$  positiva.

Una de las principales características de la función exponencial es ser la única distribución continua que no posee memoria, es decir, no importa que sucesos o supuestos se tengan, la probabilidad de ocurrencia dado un acontecimiento es la misma aun sin condicionar.

$$P(X \geq y+x | X \geq x) = P(X \geq y)$$

### 3.3.2.1. Esperanza de la distribución exponencial

Sea  $X$  variable aleatoria. Al ser una función continua es necesario utilizar una función de integración.

$$\begin{aligned}
 E(X) &= \int_0^{\infty} x \cdot \frac{1}{\beta} e^{-\frac{x}{\beta}} \partial x \\
 &= \frac{1}{\beta} \int_0^{\infty} x \cdot e^{-\frac{x}{\beta}} \partial x \\
 &= \frac{1}{\beta} \left[ -\frac{x}{\frac{1}{\beta}} e^{-\frac{x}{\beta}} \right]_0^{\infty} + \beta \left[ \int_0^{\infty} e^{-\frac{x}{\beta}} \partial x \right] \\
 &= \left[ -\beta e^{-\frac{x}{\beta}} \right]_0^{\infty} \\
 &= \beta
 \end{aligned}$$

### 3.3.2.2. Varianza de la distribución exponencial

Para poder obtener la varianza de la variable aleatoria es necesario encontrar el segundo momento.

$$\begin{aligned}
 E(X^2) &= \int_0^{\infty} x^2 f(x) \partial x = \int_0^{\infty} x^2 \cdot \frac{1}{\beta} e^{-\frac{x}{\beta}} \partial x \\
 &= \frac{1}{\beta} \int_0^{\infty} x^2 \cdot e^{-\frac{x}{\beta}} \partial x \\
 &= \frac{1}{\beta} \left[ -\frac{x^2}{\frac{1}{\beta}} e^{-\frac{x}{\beta}} \right]_0^{\infty} + \frac{1}{\beta} \left[ \int_0^{\infty} 2x\beta e^{-\frac{x}{\beta}} \partial x \right] \\
 &= \frac{1}{\beta} \left[ -2x\beta^2 e^{-\frac{x}{\beta}} \right]_0^{\infty} + \frac{1}{\beta} \left[ \int_0^{\infty} 2\beta^2 e^{-\frac{x}{\beta}} \partial x \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{\beta} \left[ -2\beta^3 e^{-\frac{x}{\beta}} \right]_0^{\infty} \\
&= \frac{1}{\beta} [2\beta^3] \\
&= 2\beta^2
\end{aligned}$$

Una vez encontrado el segundo momento de la distribución, procedemos a generar la varianza.

$$\begin{aligned}
\text{Var}(X) &= E(X^2) - E^2(X) \\
&= 2\beta^2 - \beta^2 \\
&= \beta^2
\end{aligned}$$

### 3.3.3. Variable Aleatoria S

Sean  $y_i \geq 0$  variables aleatorias que sigue una distribución exponencial ( $1/\beta$ ); es decir cualquier variable  $y$  se distribuye exponencial con el mismo parámetro.

$$f(y_i) = \frac{1}{\beta} e^{-\frac{y_i}{\beta}}$$

Sea  $N > 0$  un número entero aleatorio que sigue una distribución Poisson ( $\lambda$ )

$$P(N) = \lambda^N \frac{e^{-\lambda}}{N!}$$

Sea S variable aleatoria, tal que

$$S = \sum_{i=1}^N y_i$$

$S$  representa la suma de  $N > 0$  variables aleatorias independientes, que siguen una Ley Fuga<sup>13</sup> con parámetro de forma  $\lambda$ , y escala  $\beta$ .

### 3.3.3.1. Esperanza de la variable aleatoria $S$

La variable aleatoria  $S$  representa la suma hasta  $N$  (número aleatorio que sigue una distribución Poisson ( $\lambda$ )) de variables aleatorias  $y_i$  que se distribuyen exponencial ( $1/\beta$ ).

Para poder obtener la media de esta variable aleatoria ( $S$ ), es necesario condicionar sobre los posibles valores que puede obtener  $N$ , puesto que es una variable aleatoria que depende de un número aleatorio.

$$S = \sum_{i=1}^N y_i$$

$$E(S) = E\left(\sum_{i=1}^N y_i\right)$$

Se condiciona sobre los posibles valores que puede obtener la variable  $N$  por la probabilidad de que este evento ocurra.

$$E(S) = \sum_{k=0}^{\infty} E\left(\sum_{i=1}^N y_i \mid N = k\right) P(N = k)$$

$$= \sum_{k=0}^{\infty} E\left(\sum_{i=1}^k y_i\right) P(N = k)$$

La esperanza de una suma de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas, es la suma de las esperanzas de estas variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas. Como las  $y_i$  tienen una misma distribución y son independientes entre sí, la expresión anterior se reescribe como:

$$E(S) = \sum_{k=0}^{\infty} k \cdot E(y_i) P(N = K) \quad \text{para cualquier } y_i$$

<sup>13</sup> Esta ley utiliza una distribución Poisson, para simbolizar la probabilidad de ocurrencia de un evento en conjunto con una distribución exponencial que modela la magnitud media del fenómeno en cuestión.

El primer término es la definición de la esperanza de  $N$

$$E(S) = \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} k \cdot P(N = K) \right\} \cdot E(y_i)$$

Por lo que se concluye que:

$$E(S) = E(N) \cdot E(y_i)$$

$$E(S) = \lambda \cdot \beta$$

### 3.3.3.2. Varianza de la variable aleatoria $S$

Ahora se procede a encontrar la medida de dispersión de la variable aleatoria  $S$  con respecto a su media.

Para encontrar la varianza es necesario recurrir al concepto de variable condicional.

$$Var(S) = E \left\{ Var \left( \sum_{i=1}^N y_i \mid N = k \right) \right\} + Var \left\{ E \left( \sum_{i=1}^N y_i \mid N = k \right) \right\}$$

Ahora, se sustituye por el valor que puede obtener la variable  $N$

$$Var(S) = E \left\{ Var \left( \sum_{i=1}^k y_i \right) \right\} + Var \left\{ E \left( \sum_{i=1}^k y_i \right) \right\}$$

La varianza de una suma de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas, es la suma de las varianzas de las variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas.

$$\begin{aligned} \text{Var}(S) &= E\left\{\sum_{i=1}^k \text{Var}(y_i)\right\} + \text{Var}\left\{E\left(\sum_{i=1}^k y_i\right)\right\} \\ &= E\{k \cdot \text{Var}(y_i)\} + \text{Var}\{k \cdot E(y_i)\} \end{aligned}$$

para cualquier  $y_i$

En el primer término,  $\text{Var}(y_i)$  da como resultado una constante, al aplicar la esperanza da como resultado la misma varianza.

Para el segundo término, la  $E(y_i)$  es una constante; la varianza de una constante es la misma al cuadrado; por lo que la ecuación anterior se reescribe como:

$$\begin{aligned} \text{Var}(S) &= E(N)\text{Var}(y_i) + \text{Var}(N)E(y_i)^2 \\ \text{Var}(S) &= 2\lambda \cdot \beta^2 \end{aligned}$$

### 3.3.3.3. Tiempos de interarribo

Como se ha observado, las inundaciones son fenómenos naturales que se presentan de manera aleatoria en el tiempo.

Sean  $T_i$  variables aleatorias que representan el tiempo entre dos eventos consecutivos (inundaciones). Como se sabe que la función de distribución de probabilidad de estas variables es exponencial (de acuerdo a los principios de la ley fuga de nivel de lámina de lluvia) con parámetro de escala  $\mu_T$ ; a dichas variables aleatorias se les conoce como tiempo de interarribo.

$X_t$  es el número de eventos que sigue un Proceso Poisson (de acuerdo a los principios de la ley de fuga de número de lluvias) para un tiempo  $t$ .

$$f(T) = \frac{1}{\mu_T} e^{-\frac{T}{\mu_T}}$$

donde:

$\mu_T$  parámetro de forma de la ley exponencial

$T$  intervalo de tiempo entre dos eventos.

Sea

$$t_r = \sum_{i=1}^r T_i$$

La suma de  $r$  variables que siguen una distribución exponencial.

Una forma sencilla de encontrar la distribución de una suma de variable aleatoria es a través de su función generadora de momentos.

$$\begin{aligned} M_{\sum_{i=1}^r T_i}(t) &= E\left(e^{t \cdot \sum_{i=1}^r T_i}\right) \\ &= E\left(\prod_{i=1}^r e^{t \cdot T_i}\right) = \prod_{i=1}^r E\left(e^{t \cdot T_i}\right) \\ &= \prod_{i=1}^r \frac{1/\mu_T}{1/\mu_T - t} \\ &= \left(\frac{1/\mu_T}{1/\mu_T - t}\right)^r \end{aligned}$$

De esta forma, la variable aleatoria  $t_r$  tendrá una distribución Gama( $r, 1/\mu_T$ ), con función de densidad de probabilidad igual a:

$$f(t_r) = \frac{\left(\frac{1}{\mu_T}\right)^r}{(r-1)!} (t_r)^{r-1} e^{-\frac{t_r}{\mu_T}}$$

### 3.3.4. Variable Aleatoria $X_t$

A partir de las definiciones anteriores se puede asegurar que:

$$P(X_t \geq r) = P(t_r \leq t)$$

Es decir, la probabilidad de que se presenten al menos  $r$  eventos en un periodo  $t$ , es equivalente a la probabilidad de que la  $r$ -ésima inundación ocurra antes o en el tiempo  $t$ .

A partir del resultado anterior se puede encontrar la función de distribución de  $X_t$ .

Dado que  $t_r$  tiene función de distribución Gama( $r, 1/\mu_r$ )

$$P(t_r \leq t) = 1 - e^{-\frac{t}{\mu_r}} \sum_{k=0}^{r-1} \frac{\left(\frac{t}{\mu_r}\right)^k}{k!}$$

para cualquier  $t > 0$

para cualquier  $t > 0$ , se cumple que:

$$\begin{aligned} P(X_t = r) &= P(X_t \geq r) - P(X_t \geq r+1) \\ &= P(t_r \leq t) - P(t_{r+1} \leq t) \\ &= \left[ 1 - e^{-\frac{t}{\mu_r}} \sum_{k=0}^{r-1} \frac{\left(\frac{t}{\mu_r}\right)^k}{k!} \right] - \left[ 1 - e^{-\frac{t}{\mu_r}} \sum_{k=0}^r \frac{\left(\frac{t}{\mu_r}\right)^k}{k!} \right] \\ &= e^{-\frac{t}{\mu_r}} \frac{\left(\frac{t}{\mu_r}\right)^r}{r!} \end{aligned}$$

A partir de la función de distribución de probabilidad exponencial entre los intervalos o tiempos de interarribo de dos fenómenos naturales, con parámetro de forma  $\mu_\tau$ , se concluye que  $X_t$ , el número de inundaciones en un periodo de tiempo  $t$ , sigue una Ley de Poisson ( $t/\mu_\tau$ ).

### 3.3.4.1. Función de densidad de probabilidad de la variable aleatoria S

Sean  $y_i \geq 0$  variables aleatorias que siguen una distribución exponencial ( $1/\beta$ ); sea  $N > 0$  un número entero aleatorio que sigue una distribución Poisson ( $\lambda$ ). Entonces:

$$S = \sum_{i=1}^N y_i$$

La variable aleatoria  $S$  representa la suma de un número aleatorio  $N$ , que sigue una distribución Poisson ( $\lambda$ ), de variables aleatorias  $y_i \geq 0$  que se distribuyen exponencial ( $1/\beta$ ).

Por lo tanto, la variable aleatoria  $S$  depende del valor que pueda obtener la variable aleatoria  $N$  (Poisson ( $\lambda$ )) y las variables aleatorias  $y_i \geq 0$  (exponencial ( $1/\beta$ )). Entonces  $S$  sigue una distribución Gama( $N, 1/\beta$ ).

$$f(x, N) = \frac{\left(\frac{1}{\beta}\right)^N x^{N-1}}{\Gamma(N)} e^{-\frac{x}{\beta}}$$

Se utiliza un cambio de variable  $U=x/\beta$  para obtener una variable reducida.

$$T = \begin{cases} v_1 = x \cdot \frac{1}{\beta} \\ v_2 = N \end{cases} \rightarrow T^{-1} = \begin{cases} x = v_1 \cdot \beta \\ N = v_2 \end{cases}$$

$$\left| J_{T^{-1}} \right| = \begin{vmatrix} 0 & \beta \\ 1 & 0 \end{vmatrix} = |-\beta| = \beta$$

$$\begin{aligned}
 f(U, N) &= \beta f(v_1 \cdot \beta, N) \\
 &= \beta \left( \frac{1}{\beta} \right)^N \frac{(U\beta)^{N-1}}{\Gamma(N)} e^{-\frac{U\beta}{\beta}} \\
 &= \frac{U^{N-1}}{\Gamma(N)} e^{-U}
 \end{aligned}$$

De la función resultante se desea obtener la función marginal de  $U$ . Por la definición de función marginal de probabilidad, se suma sobre todos los valores que  $N$  puede tomar, resultando:

$$\begin{aligned}
 f(U) &= \sum_{N=1}^{\infty} \frac{e^{-\lambda} \lambda^N}{N!} \frac{1}{(N-1)!} U^{N-1} e^{-U} \\
 f(U) &= e^{-(\lambda+U)} \lambda \left[ 1 + \frac{\lambda U}{2} + \dots + \frac{(\lambda U)^i}{i!(i+1)!} + \dots \right] \\
 &= e^{-(\lambda+U)} \lambda \left[ \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(\lambda U)^i}{i!(i+1)!} \right]
 \end{aligned}$$

Utilizando una función de Bessel modificada de primer orden la suma puede expresarse como:<sup>14</sup>

$$I_1(2\sqrt{\lambda U}) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\sqrt{\lambda U})^{2n+1}}{n!(n+1)!} = \sqrt{\lambda U} + \frac{(\sqrt{\lambda U})^3}{1!2!} + \dots + \frac{(\sqrt{\lambda U})^{2i+1}}{i!(i+1)!} + \dots$$

De esta forma, la función de densidad de probabilidad de la llamada ley de Fuga para la variable reducida  $U=x/\beta$  estará dada por la expresión:

$$\begin{aligned}
 f(U) &= e^{-(\lambda+U)} \lambda \frac{I_1(2\sqrt{\lambda U})}{\sqrt{\lambda U}} \\
 f(0) &= \lambda e^{-\lambda}
 \end{aligned}$$

<sup>14</sup> Wikipedia, Función de Bessel, (en línea), (fecha de consulta 07-07-2015). Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Funci%C3%B3n\\_de\\_Bessel](https://es.wikipedia.org/wiki/Funci%C3%B3n_de_Bessel)

donde:

$\lambda$  = Es el parámetro de forma,  $\lambda > 0$  (número de eventos dentro en un periodo de tiempo  $T$ )

$\beta$  Es el parámetro de escala,  $\beta > 0$  (lámina media de lluvia por evento)

$I_1$  Es la función de Bessel de primer orden

Esta ley es una distribución mixta que tiene una discontinuidad para el valor cero (excepto cuando  $\lambda=0$ ), es decir la ordenada al origen tiene un valor de  $\lambda e^{-\lambda}$ .

Para el uso de esta ley en los fenómenos hidrometeorológicos, es necesario tener en cuenta las siguientes hipótesis:

- La lluvia es un proceso sin memoria, en lo cual ayuda a la distribución exponencial.
- La altura de la lámina de lluvia de cada evento sigue una distribución exponencial.
- El número de eventos (días con lluvia) registrados en una estación de medición en un intervalo  $t$ , sigue una distribución de Poisson.
- Si se considera que en la primera hipótesis el proceso es además estacionario, la distribución de la duración entre cada evento, seguirá una ley de distribución exponencial y el intervalo de tiempo  $T$ , del número de eventos  $\lambda$  sigue una distribución Poisson.

A través del capítulo se ha podido analizar algunas metodologías basadas en funciones de probabilidad para el cálculo del riesgo por inundación.

La importancia de este tipo de estudios radica en los riesgos implícitos en los fenómenos naturales; aunque el problema no es solo ambiental, pues el hombre juega un papel importante por las construcciones que realiza cerca de la vera de cuerpos de agua; además, la urbanización transforma el ambiente, dificultando la absorción del agua por el suelo. Aunado a esto, hay que sumar una deficiente cultura de prevención.

En cualquier parte del mundo donde haya falta de planeación, deja de ser una cuestión puramente ambiental (de condiciones de precipitación, o vaciado de cuerpos) y pasa a ser también social, económica, estructural y hasta político.<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> Faria Caroline, Enchentes no Brasil, (en línea), (fecha de consulta 07-07-2015). Disponible en: <http://www.infoescola.com/hidrografia/enchentes-no-brasil/>

#### 4. Cálculo del seguro con cobertura por inundación a través de simulación

En la actualidad la legislación mexicana considera tres grandes divisiones en materia de seguros:

- vida,
- accidentes y enfermedades, y
- no-vida (daños).

Para el cálculo de la prima en los primeros dos casos, los especialistas en la materia hacen uso, especialmente, de tablas donde se encuentra condensada la información, ya analizada y estudiada.

En el caso de los seguros de daños, es más común el uso de la probabilidad y la estadística para modelar los riesgos inherentes a los productos no-vida.

En este capítulo se enunciarán las fórmulas que componen la prima pura de un seguro; además se ejemplificará mediante un proceso de simulación el cálculo de la prima pura de un seguro con cobertura por inundación debido a lluvias realizando el cálculo de la frecuencia y la severidad con la ley de Fuga y utilizando la cuantificación del menaje del CENAPRED.

##### 4.1. Prima Pura y Coeficientes de Riesgo

La prima pura por unidad de riesgo es la fracción de peso que se debe pagar para garantizar un peso de capital.

$$P = \frac{K}{M}$$

donde:

$K$ : monto del siniestro

$M$ : número de siniestros

Sea  $n$ = número de siniestros que han producido  $K$

$$P = \frac{K}{M} = \frac{n}{n} \cdot \frac{K}{M} = \frac{n}{M} \cdot \frac{K}{n}$$

con

$$f = \frac{n}{M} \quad \text{frecuencia de los siniestros}$$

$$K_m = \frac{K}{n} \quad \text{siniestro medio}$$

$P = f * K_m$  Probabilidad de ocurrencia multiplicada por el valor medio de los mismos.

## 4.2. Simulación

Para poder realizar una simulación es necesario tener en cuenta ciertos supuestos que definirán el experimento y las decisiones a seguir.

### Riesgos excluidos<sup>16</sup>

Debe tenerse en cuenta la existencia de exclusiones en la cobertura del seguro, derivado de ciertas cuestiones impropias del riesgo por inundación, es decir no imputables directamente al riesgo en cuestión.

<sup>16</sup> Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros

En ningún caso la Compañía aseguradora será responsable por pérdidas o daños causados por:

- Mojadura o humedades o sus consecuencias debido a filtraciones:
  - De aguas subterráneas o freáticas.
  - Por deficiencias en el diseño o construcción de techos, muros o pisos.
  - Por fisuras o fracturas de cimentaciones o muros de contención.
  - Por mala aplicación o deficiencias de materiales impermeabilizantes.
  - Por falta de mantenimiento.
  - Por la falta de techos, puertas, ventanas o muros o aberturas en los mismos, o por deficiencias constructivas de ellos.
- Corrosión, herrumbre, erosión, moho, plagas de toda especie y cualquier otro deterioro paulatino a consecuencia de las condiciones ambientales y naturales.
- El retroceso de agua en alcantarillado y/o falta o insuficiencia de drenaje, en los predios del Asegurado.
- La acción natural de la marea.
- Inundaciones por lluvia o avalanchas de lodo que se confinen sólo a las ubicaciones donde se encuentren los bienes materia del seguro.
- Contaminación directa por agua de lluvia, a menos que haya ocurrido un daño físico amparado explícitamente en la póliza y suceda en las instalaciones aseguradas.
- Socavación a edificaciones que se encuentren ubicadas en la primera línea de construcción a la orilla del mar, a menos que se encuentren protegidos por muros de contención con cimientos de concreto armado o protegidos por escolleras con tetrápodos de concreto armado. Se exceptúa de esta exclusión a los edificios y sus contenidos que se encuentren a más de 50 metros de la línea de rompimiento de las olas en marea alta o a más de 15 metros sobre el nivel del mar en marea alta.
- Daños o pérdidas preexistentes al inicio de vigencia del seguro, que hayan sido o no del conocimiento del Asegurado.
- Pérdidas o daños de cualquier tipo ocasionados por deficiencias en la construcción o en su diseño, o por falta de mantenimiento de los bienes materia del seguro.

- Daños causados por contaminación, a menos que los bienes cubiertos sufran daños materiales directos causados por los riesgos amparados, causando contaminación a los bienes cubiertos. No se amparan tampoco los perjuicios o gastos ocasionados por la limpieza o descontaminación del medio ambiente (tierra, subsuelo, aire o aguas).
- Cualquier daño material o consecuencial derivado de la falta de suministro de agua, electricidad, gas o cualquier materia prima o insumo aun cuando la falta de suministro sea resultado de la inundación.
- Rapiña, hurto, desaparición, saqueos o robos que se realicen durante o después del fenómeno hidrometeorológico.

Este tipo de seguros, de acuerdo a la clasificación descrita por la CNSF, se encontrarán dentro de las operaciones de Daños, aun sin una categorización en las tipificaciones existentes, pues se trata de la ejemplificación de un nuevo producto (la cobertura será tomada independiente de los riegos por Terremoto y otros riesgos catastróficos, como hoy día se realiza).

#### 4.2.1. Hipótesis y consideraciones

Para poder realizar la simulación es necesario tener o considerar ciertos supuestos que serán la base de partida para el proyecto.

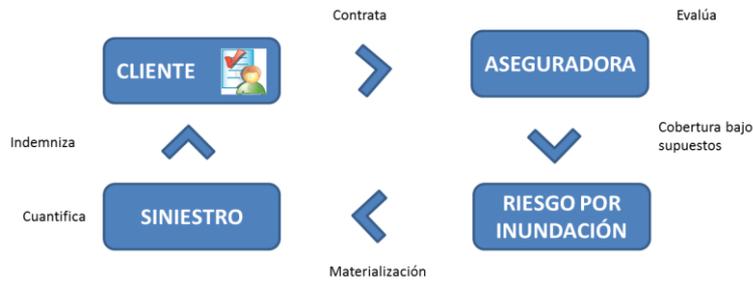
##### **Definición del Sistema<sup>17</sup>**

Es necesario definir el sistema o pasos a seguir para la generación y medición del riesgo en el modelo por inundación. Por lo que se tendrá que tener un análisis de datos:

- Definición de lugar y tiempo.
- Estructura y tamaño de la Cartera.
- Simulación de la Frecuencia:
  - Probabilidad de lluvia,
  - Número de lluvias registradas.
- Simulación de la Severidad:
  - Intensidad de lluvia,
  - Nivel de afectación a Casa-habitación,
  - Volumen de Cartera.
- Número de Iteraciones.
- Realizar la simulación:
  - Estimar el parámetro de la función de distribución de. probabilidad. Poisson.
  - Estimar el parámetro de la función de distribución de. probabilidad exponencial.
- Análisis e interpretación de resultados.

---

<sup>17</sup> Vargas A., Juan Carlos; *Uso de la estimación de la distribución de probabilidad para muestras pequeñas y de la simulación en la inferencia de carteras de seguros*, p.85.



El cliente contratará la póliza de cobertura por riesgo de inundación por lluvia. La aseguradora dará la cobertura bajo los supuestos especificados, en caso de que se materialice el siniestro se dará la cobertura e indemnizará al cliente.

Con los puntos anteriores, se tomará la temporalidad del seguro de un año, con ubicación en México D. F, para poder ejemplificar la aplicación del cálculo de la prima de un seguro con cobertura por inundación causado por lluvias.

### Hipótesis Estadísticas

Otro punto importante a tener en cuenta son las hipótesis o supuestos estadísticos y probabilísticos, ya que nos ayudarán en el modelado de la función del riesgo por inundación.

Se considera que las lluvias siguen una distribución perteneciente a la Ley de Fuga:

$$S = \sum_{i=1}^N y_i$$

donde:

$y_i \geq 0$  variables aleatorias que siguen una distribución exponencial ( $1/\beta$ ). Parámetro de escala (lámina media de lluvia por evento).

$$f(y) = \frac{1}{\beta} e^{-\frac{y}{\beta}}$$

$N > 0$  número entero aleatorio que sigue una distribución Poisson ( $\lambda$ ). Parámetro de forma (número de eventos dentro de un periodo  $T$  de tiempo).

$$P(N) = \lambda^N \frac{e^{-\lambda}}{N!}$$

$S$  representa la suma de  $N > 0$  variables aleatorias independientes, con parámetro de forma  $\lambda$ , y escala  $\beta$ .

### Hipótesis Financieras

Para la cuantificación del menaje de las viviendas se considerarán los parámetros propuestos por el CENAPRED, pues estos datos son producto del análisis realizado por sus investigadores.

Tabla 4.2.1 Menaje por tipo de vivienda.

Tipo de vivienda	Cuantificación del menaje (\$)
I	\$ 12,500.00
II	\$ 50,000.00
III	\$ 150,500.00
IV	\$ 300,000.00
V	\$ 450,000.00

Fuente: Elaboración propia con datos del CENAPRED.

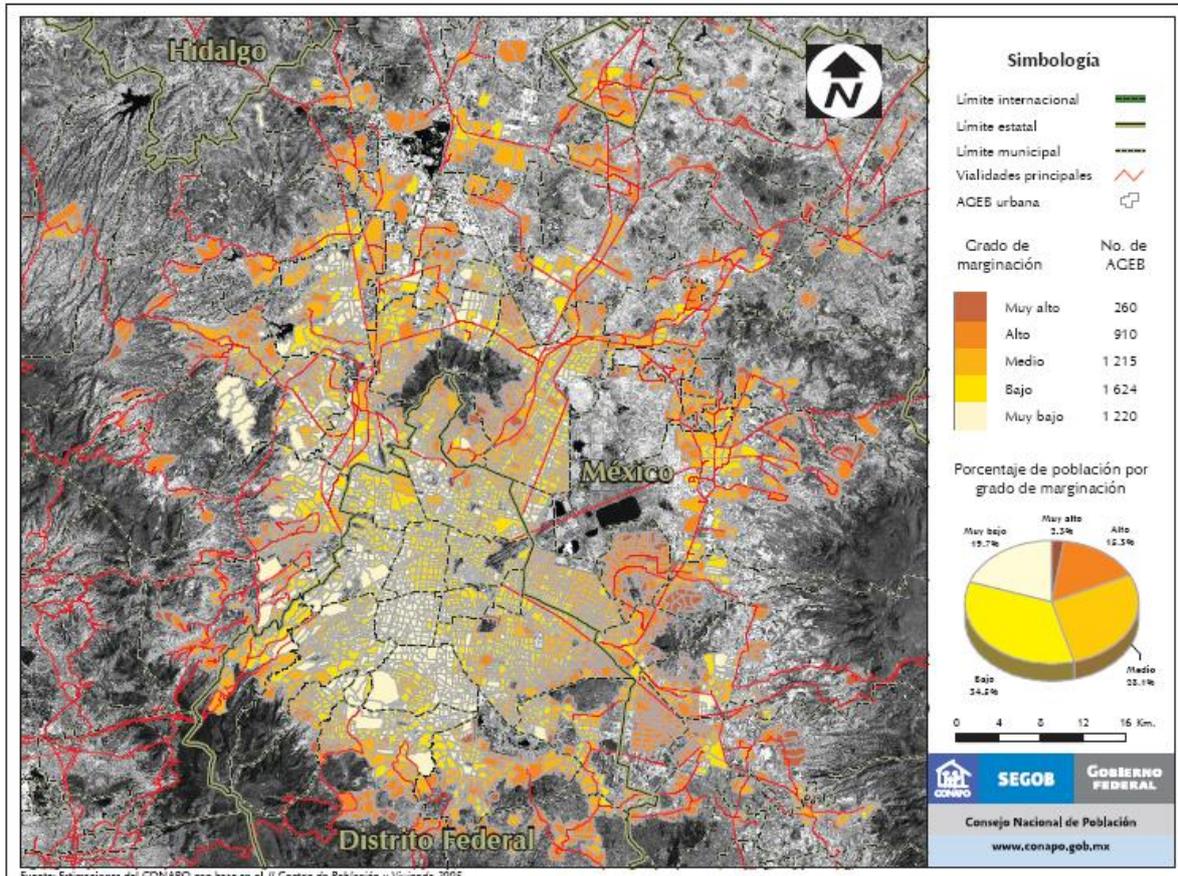
### Hipótesis Geográficas

Es necesario determinar la región en la que se dará la cobertura del seguro.

Para el ejercicio de simulación se considerará una cobertura en México D.F, por lo que es necesario determinar la clasificación de acuerdo a la vulnerabilidad de las viviendas en esta región.

Utilizando el índice de marginación urbana<sup>18</sup> se podrá tener un panorama del porcentaje de las viviendas y determinar su nivel y cuantificación de menaje al que pertenecen.

Imagen 4.2.1 Zona Metropolitana del Valle de México: Grado de marginación por AGEB urbana, 2005.



Fuente: CONAPO.

<sup>18</sup>México. Consejo Nacional de Población, Índices de marginación, 2010, (en línea), (fecha de consulta 07-07-2015). Disponible en: <http://www.conapo.gob.mx/>

#### 4.2.2. Generación de datos mediante simulación estocástica

El análisis del riesgo correspondiente a este tipo de productos (nuevos) requiere de un tiempo de estudio y un amplio historial de datos, que aunque existan es difícil tener acceso a ellos. Además la existencia de la información no implica la veracidad o que posea el nivel de confianza necesario.

Debido a la inexistencia de datos de cartera por la innovación del producto, se utilizarán los registros de lámina de lluvia mensual recabados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)<sup>19</sup>, como base para los parámetros de las funciones de probabilidad para el cálculo del riesgo por inundación

La siguiente tabla contiene el registro de lámina de lluvia mensual presentado en el Distrito Federal, desde 2001 hasta 2010.

Tabla 4.2.2 Lámina de lluvia mensual en mililitros.

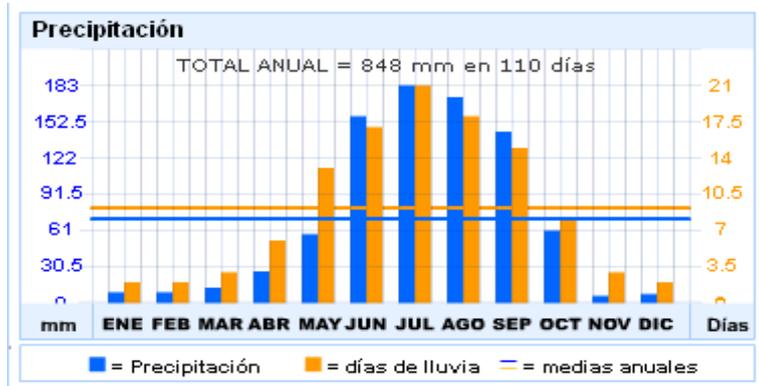
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Promedio anual
2001	2.3	8.5	8.5	55.9	58	148.8	162.1	162.1	163	43.7	7.3	3.5	68.64
2002	8.5	2.8	15.3	32.7	29.7	88.1	190.6	102.6	191	88.4	23.4	0.7	64.48
2003	0.3	1.5	14	16.8	17	194.7	146.4	146.2	163.5	56.2	11.3	0.1	64
2004	25.5	0.1	23	19	48.5	142.3	115.7	144.1	150.7	53.1	6.1	0.9	60.75
2005	5.9	4.5	3.9	21.9	23.1	90.5	158.8	175.4	64.1	90	6.2	1	53.78
2006	2.2	1.2	11.8	27.6	75.7	105.6	168.6	215.7	153.6	77.4	38.7	4.3	73.53
2007	6	22	20.4	21.4	60.9	104.5	173.8	168.5	172.8	38	7.2	1.6	66.43
2008	0.1	2.9	3.1	39.4	42.6	152.6	164	164.7	113.6	37.7	0	0	60.06
2009	13.2	6.8	8.6	5.9	41.7	86.3	103.6	143	227.8	72.1	0.7	3.4	59.43
2010	25.8	57.3	1.6	14.9	27.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	25.38
<b>Máximo</b>	25.8	57.3	23	55.9	75.7	194.7	190.6	215.7	227.8	90	38.7	4.3	99.96
<b>Mínimo</b>	0.1	0.1	1.6	5.9	17	86.3	103.6	102.6	64.1	37.7	0	0	34.92
<b>Promedio</b>	8.98	10.8	11	25.6	42.5	123.7	153.7	158	155.6	61.8	11.2	1.7	63.72

Fuente: Elaboración propia, con información de CONAGUA.

<sup>19</sup> México, Comisión Nacional del Agua, Servicio Meteorológico Nacional, Precipitación a nivel nacional y por Entidad Federativa, (en línea), (fecha de consulta 07-07-2015). Disponible en: <http://smn.conagua.gob.mx/climatologia/TempsyPrecip/Mensuales/2014Prec.pdf>

Para el registro de días que presentan precipitaciones por mes se utilizará la información desplegada en las bases de datos de Educaplus<sup>20</sup> (sitio reconocido por CONAGUA):

Gráfica 4.2.2 Días con precipitación, registro mensual.



Fuente: [www.educaplus.org](http://www.educaplus.org)

## Definiciones estadísticas y probabilísticas

Para el cálculo de la prima de seguro por inundación, es necesario tener conocimientos de definiciones de aplicaciones estadísticas y probabilísticas.

### Espacio muestral

Denotado por  $\Omega$ , es el conjunto de todos los posibles resultados que se pueden obtener en un experimento aleatorio.

### Espacio paramétrico

Denotado por  $\Theta$ , es el conjunto de posibles valores que puede obtener un parámetro ( $\theta$ ).

<sup>20</sup> Educaplus, Clima TIC, (en línea), (fecha de consulta 07-07-2015). Disponible en: [www.educaplus.org/climatic/datclim\\_db.php?estacion=766800](http://www.educaplus.org/climatic/datclim_db.php?estacion=766800)

## Estadístico

Medida cuantitativa, derivada de un conjunto de datos de una muestra, con el objetivo de estimar o inferir características de una población o modelo estadístico<sup>21</sup>.

## Estimador

Es cualquier estadístico cuyos valores pueden ser usados para estimar o aproximar  $\tau(\theta)$  una función del parámetro  $\theta$ . Una de las principales características de un estimador es que siempre es una variable aleatoria y una función al mismo tiempo. El estimador del estadístico  $\theta$  se denotara  $\hat{\theta}$ .

## Método de momentos (Karl Pearson)

Sea  $f(X; \theta_1; \dots; \theta_k)$  una densidad de  $k$  parámetros, donde:

$$\mu_r = E(X^r) \quad \text{El } r\text{-ésimo momento poblacional alrededor de 0.}$$

$$M_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^r \quad M_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i^r) \quad \text{El } r\text{-ésimo momento muestral}$$

alrededor del 0.

Igualamos los momentos, tal que:

$$M_1 = \mu_1$$

$$M_2 = \mu_2$$

⋮

$$M_k = \mu_k$$

La solución  $(\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_k)$  se conoce como el estimador por el método de momentos.

<sup>21</sup> Wikipedia, Estadístico muestral, (en línea), (fecha de consulta 07-07-2015). Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Estad%C3%ADstico\\_muestral](https://es.wikipedia.org/wiki/Estad%C3%ADstico_muestral)

## Método de Máxima Verosimilitud

### Función de verosimilitud

Se define como la densidad conjunta de  $X_1$  hasta  $X_n$  (muestra aleatoria) considerada como función de  $\theta$  y se denota como:

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n f(X_i; \theta)$$

Sea  $L(\theta)$  la función de verosimilitud correspondiente a la muestra aleatoria  $X_1, \dots, X_n$  de  $f(X; \theta)$ . Si  $\hat{\theta} = T(X)$  es el valor  $\theta \in \theta$  que maximiza a  $L(\theta)$ , a  $\hat{\theta}$  se le llama el estimador máximo verosímil de  $\theta$ .

$$L(\hat{\theta}_{MV}) \geq L(\theta)$$

Cabe mencionar que también se puede trabajar con la función logarítmica, es decir, utilizar  $\log(\theta)$  en vez de  $L(\theta)$ , este cambio facilitará algunos cálculos sin alterar resultados, pues se puede alcanzar el mismo resultado en el mismo punto.

Estos métodos de aproximación son dos de los más importantes y usados en la estimación de parámetros en hidrología.

El método de máxima verosimilitud es teóricamente el más apropiado para ajustar distribuciones de probabilidad porque produce los estimativos de parámetros más eficientes, sin embargo en ocasiones, no se puede aplicar a todas ellas ya que la maximización debe hacerse numéricamente y no de forma analítica. Para propósitos prácticos el método de momentos es el más fácil de aplicar y apropiado en análisis hidrológicos.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> Ibíd. p.49

### 4.2.3. Estimador de la función de distribución de probabilidad Poisson por método de momentos

Sea  $X$  variable aleatoria con función de distribución de probabilidad Poisson ( $\lambda$ ):

$$P(x = X) = \lambda^x \frac{e^{-\lambda}}{x!}, \quad x \in \{0, 1, 2, 3, \dots\}$$

De acuerdo a la definición de estimador máximo verosímil se tiene:

$$E(X) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$E(X) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \lambda$$

$$E(X) = \lambda$$

$$E(X) = \hat{\lambda} = \bar{X}$$

Por lo que el estimador máximo verosímil para una función de distribución Poisson es la media muestral.

### 4.2.4. Estimador de la función de distribución de probabilidad exponencial por método de momentos

Sea  $X$  variable aleatoria con función de distribución de probabilidad exponencial ( $1/\beta$ ):

$$f(x) = \frac{1}{\beta} e^{-\frac{x}{\beta}}$$

Siguiendo la ecuación que define un estimador máximo verosímil se tiene:

$$E(X) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$E(X) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \beta$$

$$\bar{X} = \beta$$

$$\frac{1}{\beta} = \frac{1}{\bar{X}}$$

Por lo que el estimador máximo verosímil para una función de distribución exponencial es el inverso de la media muestral.

Una vez determinado los estimadores para los parámetros de las funciones a utilizar, se procederá a realizar la simulación del número de días que presenten lluvias que afectarán por mes en la región de estudio.

El siguiente paso será generar la intensidad de las lluvias simuladas en el paso anterior, que de acuerdo a las estadísticas afectarán por mes. Para lo cual se utilizarán las estadísticas disponibles en CONAGUA, INEGI y Educaplus:

Tabla 4.2.4-1 Precipitación media en mm. por mes.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Prom anual
2001	2.3	8.5	8.5	55.9	58	148.8	162.1	162.1	163	43.7	7.3	3.5	68.64
2002	8.5	2.8	15.3	32.7	29.7	88.1	190.6	102.6	191	88.4	23.4	0.7	64.48
2003	0.3	1.5	14	16.8	17	194.7	146.4	146.2	163.5	56.2	11.3	0.1	64
2004	25.5	0.1	23	19	48.5	142.3	115.7	144.1	150.7	53.1	6.1	0.9	60.75
2005	5.9	4.5	3.9	21.9	23.1	90.5	158.8	175.4	64.1	90	6.2	1	53.78
2006	2.2	1.2	11.8	27.6	75.7	105.6	168.6	215.7	153.6	77.4	38.7	4.3	73.53
2007	6	22	20.4	21.4	60.9	104.5	173.8	168.5	172.8	38	7.2	1.6	66.43
2008	0.1	2.9	3.1	39.4	42.6	152.6	164	164.7	113.6	37.7	0	0	60.06
2009	13.2	6.8	8.6	5.9	41.7	86.3	103.6	143	227.8	72.1	0.7	3.4	59.43
2010	25.8	57.3	1.6	14.9	27.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	25.38
<b>Máximo</b>	25.8	57.3	23	55.9	75.7	194.7	190.6	215.7	227.8	90	38.7	4.3	99.96
<b>Mínimo</b>	0.1	0.1	1.6	5.9	17	86.3	103.6	102.6	64.1	37.7	0	0	34.92
<b>Promedio</b>	8.98	10.76	11.02	25.55	42.45	123.7	153.73	158.03	155.57	61.84	11.21	1.72	

Fuente: Elaboración propia, con información de CONAGUA.

Tabla 4.2.4-2 Registro de días con lluvia, periodicidad mensual.

MES	PRECIPITACIÓN	DÍAS DE LLUVIA	PRECIPITACIÓN POR DÍA
Enero	9	2	4.5
Febrero	9	2	4.5
Marzo	13	3	4.33
Abril	27	6	4.5
Mayo	58	13	4.46
Junio	157	17	9.24
Julio	183	21	8.71
Agosto	173	18	9.61
Septiembre	144	15	9.6
Octubre	61	8	7.63
Noviembre	6	3	2
Diciembre	8	2	4
<b>SUMA</b>	848	110	73.08
<b>PROMEDIO</b>	70.67	9.17	6.09

Fuente: Elaboración propia, con información de Educaplus.

Tabla 4.2.4-3 Registro de días con lluvia de los últimos 10 años.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Promedio anual
2001	1	2	2	12	13	16	19	17	17	6	4	1	9.17
2002	2	1	4	7	7	10	22	11	20	12	12	0	9
2003	0	0	3	4	4	21	17	15	17	7	6	0	7.83
2004	6	0	5	4	11	15	13	15	16	7	3	0	7.92
2005	1	1	1	5	5	10	18	18	7	12	3	0	6.75
2006	0	0	3	6	17	11	19	22	16	10	19	1	10.33
2007	1	5	5	5	14	11	20	18	18	5	4	0	8.83
2008	0	1	1	9	10	17	19	17	12	5	0	0	7.58
2009	3	2	2	1	9	9	12	15	24	9	0	1	7.25
2010	6	13	0	3	6	ND	5.6						
<b>Máximo</b>	6	13	5	12	17	21	22	22	24	12	19	1	14.5
<b>Mínimo</b>	0	0	0	1	4	9	12	11	7	5	0	0	4.08
<b>Promedio</b>	2	3	3	6	10	14	18	17	17	9	6	1	

Fuente: Elaboración propia.

Las tablas anteriores contienen la información para poder simular el número de lluvias y la intensidad de las mismas, en un periodo anual en el Distrito Federal.

Es necesario obtener los valores para los parámetros por mes de las funciones de distribución de probabilidad Poisson y exponencial por el método de momentos y así poder encontrar el número de lluvias que afectará por mes:

- Parámetros por mes para la función de distribución de probabilidad Poisson:

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Promedio	2	3	3	6	10	14	18	17	17	9	6	1
Estimador	2	3	3	6	10	14	18	17	17	9	6	1

- Parámetros por mes para la función de distribución de probabilidad exponencial:

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Promedio	8.98	10.76	11.02	25.55	42.45	123.71	153.73	158.03	155.57	61.84	11.21	1.72
Estadístico	0.111	0.092	0.09	0.039	0.023	0.008	0.006	0.006	0.006	0.016	0.089	0.58

#### 4.2.5. Cálculo de número de días con lluvia por mes a través de la Función Poisson.

Una vez obtenidos los estimadores se procede a realizar la simulación de las lluvias que ocurrirán en un año.

El siguiente ejemplo muestra la ejecución de la simulación considerando las estadísticas que se han calculado con los datos históricos del Distrito Federal.

De acuerdo a los estimadores para la función Poisson se obtiene su función de densidad y distribución de probabilidad, que nos permitirán obtener los días con lluvia que han afectado al Distrito Federal.

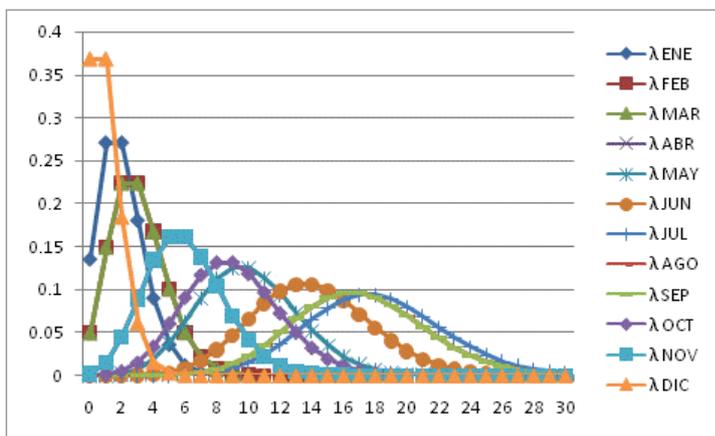
La tabla 4.2.5-1 nos permitirá conocer la función de distribución Poisson de acuerdo al estimador calculado por mes; y esto se podrá ver representado gráficamente (4.2.5-1), pudiendo observar el comportamiento de los días de lluvia, verificando que el número de lluvias se comporta de acuerdo a lo esperado con máximos de días de lluvia en los meses intermedios, mientras que en diciembre y enero son los meses con menos días de precipitación.

Tabla 4.2.5-1 Función de distribución de probabilidad Poisson  $\lambda$ .

x	$\lambda$ ENE	$\lambda$ FEB	$\lambda$ MAR	$\lambda$ ABR	$\lambda$ MAY	$\lambda$ JUN	$\lambda$ JUL	$\lambda$ AGO	$\lambda$ SEP	$\lambda$ OCT	$\lambda$ NOV	$\lambda$ DIC
0	0.1353	0.0498	0.0498	0.0025	0.00005	8E-07	2E-08	4E-08	4E-08	0.0001	0.0025	0.3679
1	0.2707	0.1494	0.1494	0.0149	0.0005	0.00001	3E-07	7E-07	7E-07	0.0011	0.0149	0.3679
2	0.2707	0.224	0.224	0.0446	0.0023	0.00008	0.000002	0.000006	0.000006	0.005	0.0446	0.1839
3	0.1804	0.224	0.224	0.0892	0.0076	0.0004	0.00001	0.00003	0.00003	0.015	0.0892	0.0613
4	0.0902	0.168	0.168	0.1339	0.0189	0.0013	0.00007	0.0001	0.0001	0.0337	0.1339	0.0153
5	0.0361	0.1008	0.1008	0.1606	0.0378	0.0037	0.0002	0.0005	0.0005	0.0607	0.1606	0.0031
6	0.012	0.0504	0.0504	0.1606	0.0631	0.0087	0.0007	0.0014	0.0014	0.0911	0.1606	0.0005
7	0.0034	0.0216	0.0216	0.1377	0.0901	0.0174	0.0019	0.0034	0.0034	0.1171	0.1377	0.00007
8	0.0009	0.0081	0.0081	0.1033	0.1126	0.0304	0.0042	0.0072	0.0072	0.1318	0.1033	0.000009
9	0.0002	0.0027	0.0027	0.0688	0.1251	0.0473	0.0083	0.0135	0.0135	0.1318	0.0688	0.000001
10	0.00004	0.0008	0.0008	0.0413	0.1251	0.0663	0.015	0.023	0.023	0.1186	0.0413	1E-07
11	0.000007	0.0002	0.0002	0.0225	0.1137	0.0844	0.0245	0.0355	0.0355	0.097	0.0225	9E-09
12	0.000001	0.00006	0.00006	0.0113	0.0948	0.0984	0.0368	0.0504	0.0504	0.0728	0.0113	8E-10
13	2E-07	0.00001	0.00001	0.0052	0.0729	0.106	0.0509	0.0658	0.0658	0.0504	0.0052	6E-11
14	3E-08	0.000003	0.000003	0.0022	0.0521	0.106	0.0655	0.08	0.08	0.0324	0.0022	4E-12
15	3E-09	5E-07	5E-07	0.0009	0.0347	0.0989	0.0786	0.0906	0.0906	0.0194	0.0009	3E-13
16	4E-10	1E-07	1E-07	0.0003	0.0217	0.0866	0.0884	0.0963	0.0963	0.0109	0.0003	0
17	5E-11	2E-08	2E-08	0.0001	0.0128	0.0713	0.0936	0.0963	0.0963	0.0058	0.0001	0
18	6E-12	3E-09	3E-09	0.00004	0.0071	0.0554	0.0936	0.0909	0.0909	0.0029	0.00004	0
19	6E-13	5E-10	5E-10	0.00001	0.0037	0.0409	0.0887	0.0814	0.0814	0.0014	0.00001	0
20	6E-14	7E-11	7E-11	0.000004	0.0019	0.0286	0.0798	0.0692	0.0692	0.0006	0.000004	0
21	0	1E-11	1E-11	0.000001	0.0009	0.0191	0.0684	0.056	0.056	0.0003	0.000001	0
22	0	1E-12	1E-12	3E-07	0.0004	0.0121	0.056	0.0433	0.0433	0.0001	3E-07	0
23	0	2E-13	2E-13	8E-08	0.0002	0.0074	0.0438	0.032	0.032	0.00004	8E-08	0
24	0	0	0	2E-08	0.00007	0.0043	0.0328	0.0226	0.0226	0.00002	2E-08	0
25	0	0	0	5E-09	0.00003	0.0024	0.0237	0.0154	0.0154	0.000006	5E-09	0
26	0	0	0	1E-09	0.00001	0.0013	0.0164	0.0101	0.0101	0.000002	1E-09	0
27	0	0	0	2E-10	0.000004	0.0007	0.0109	0.0063	0.0063	7E-07	2E-10	0
28	0	0	0	5E-11	0.000001	0.0003	0.007	0.0038	0.0038	2E-07	5E-11	0
29	0	0	0	1E-11	5E-07	0.0002	0.0044	0.0023	0.0023	7E-08	1E-11	0
30	0	0	0	2E-12	2E-07	0.00008	0.0026	0.0013	0.0013	2E-08	2E-12	0

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.2.5-1 Función de Distribución de probabilidad.



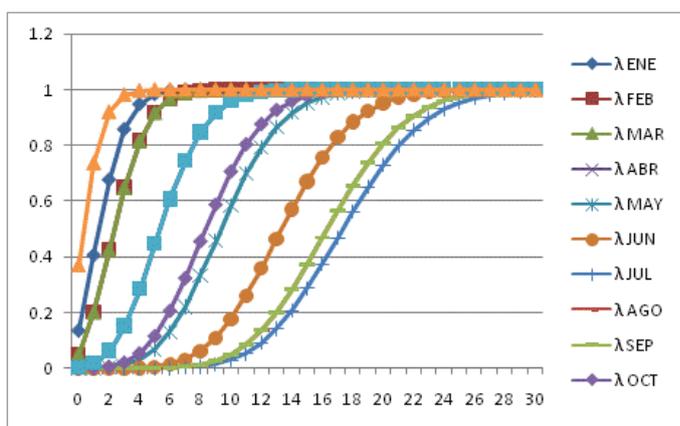
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2.5-2 Función de densidad de probabilidad Poisson  $\lambda$ .

x	$\lambda$ ENE	$\lambda$ FEB	$\lambda$ MAR	$\lambda$ ABR	$\lambda$ MAY	$\lambda$ JUN	$\lambda$ JUL	$\lambda$ AGO	$\lambda$ SEP	$\lambda$ OCT	$\lambda$ NOV	$\lambda$ DIC
0	0.135335	0.049787	0.049787	0.002479	4.54E-05	8.32E-07	1.52E-08	4.14E-08	4.14E-08	0.000123	0.002479	0.367879
1	0.406006	0.199148	0.199148	0.017351	0.000499	1.25E-05	2.89E-07	7.45E-07	7.45E-07	0.001234	0.017351	0.735759
2	0.676676	0.42319	0.42319	0.061969	0.002769	9.4E-05	2.76E-06	6.73E-06	6.73E-06	0.006232	0.061969	0.919699
3	0.857123	0.647232	0.647232	0.151204	0.010336	0.000474	1.76E-05	4.06E-05	4.06E-05	0.021226	0.151204	0.981012
4	0.947347	0.815263	0.815263	0.285057	0.029253	0.001805	8.42E-05	0.000185	0.000185	0.054964	0.285057	0.99634
5	0.983436	0.916082	0.916082	0.44568	0.067086	0.005532	0.000324	0.000675	0.000675	0.115691	0.44568	0.999406
6	0.995466	0.966491	0.966491	0.606303	0.130141	0.014228	0.001043	0.002062	0.002062	0.206781	0.606303	0.999917
7	0.998903	0.988096	0.988096	0.74398	0.220221	0.03162	0.002893	0.005433	0.005433	0.323897	0.74398	0.99999
8	0.999763	0.996197	0.996197	0.847237	0.33282	0.062055	0.007056	0.012596	0.012596	0.455653	0.847237	0.999999
9	0.999954	0.998898	0.998898	0.916076	0.45793	0.109399	0.015381	0.026125	0.026125	0.587408	0.916076	1
10	0.999992	0.999708	0.999708	0.957379	0.58304	0.175681	0.030366	0.049124	0.049124	0.705988	0.957379	1
11	0.999999	0.999929	0.999929	0.979908	0.696776	0.26004	0.054887	0.084669	0.084669	0.803008	0.979908	1
12	1	0.999984	0.999984	0.991173	0.791556	0.358458	0.091669	0.135024	0.135024	0.875773	0.991173	1
13	1	0.999997	0.999997	0.996372	0.864464	0.464448	0.142598	0.200873	0.200873	0.926149	0.996372	1
14	1	0.999999	0.999999	0.9986	0.916542	0.570437	0.208077	0.280833	0.280833	0.958534	0.9986	1
15	1	1	1	0.999491	0.95126	0.66936	0.286653	0.371454	0.371454	0.977964	0.999491	1
16	1	1	1	0.999825	0.972958	0.755918	0.37505	0.467738	0.467738	0.988894	0.999825	1
17	1	1	1	0.999943	0.985722	0.827201	0.468648	0.564023	0.564023	0.99468	0.999943	1
18	1	1	1	0.999982	0.992814	0.882643	0.562245	0.654958	0.654958	0.997574	0.999982	1
19	1	1	1	0.999995	0.996546	0.923495	0.650916	0.736322	0.736322	0.998944	0.999995	1
20	1	1	1	0.999999	0.998412	0.952092	0.73072	0.805481	0.805481	0.999561	0.999999	1
21	1	1	1	1	0.9993	0.971156	0.799124	0.861466	0.861466	0.999825	1	1
22	1	1	1	1	0.999704	0.983288	0.85509	0.904728	0.904728	0.999933	1	1
23	1	1	1	1	0.99988	0.990672	0.89889	0.936704	0.936704	0.999975	1	1
24	1	1	1	1	0.999953	0.99498	0.93174	0.959354	0.959354	0.999991	1	1
25	1	1	1	1	0.999982	0.997392	0.955392	0.974755	0.974755	0.999997	1	1
26	1	1	1	1	0.999994	0.998691	0.971766	0.984826	0.984826	0.999999	1	1
27	1	1	1	1	0.999998	0.999365	0.982682	0.991166	0.991166	1	1	1
28	1	1	1	1	0.999999	0.999702	0.9897	0.995016	0.995016	1	1	1
29	1	1	1	1	1	0.999864	0.994056	0.997273	0.997273	1	1	1
30	1	1	1	1	1	0.99994	0.996669	0.998552	0.998552	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.2.5-2 Función de densidad de probabilidad Poisson.



Fuente: Elaboración propia.

La función de densidad  $\lambda$  ejemplificada en la tabla y gráfica 4.2.5-2 nos permite observar la acumulación de probabilidad dado un número específico.

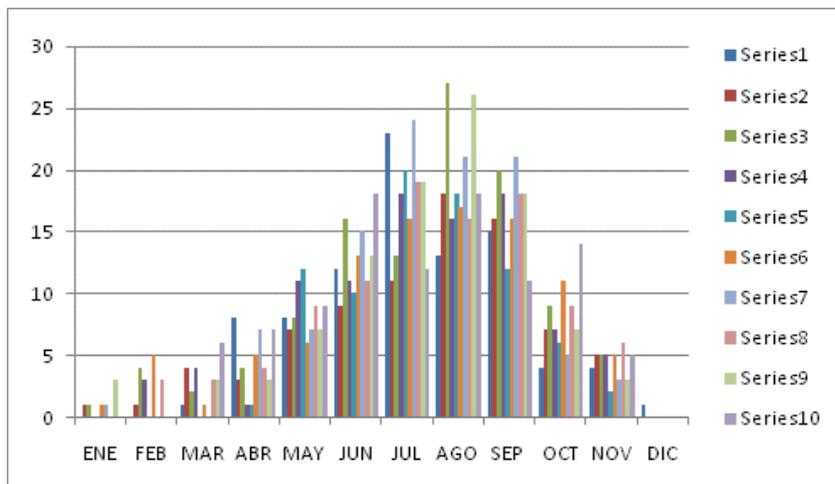
A partir de las funciones estadísticas calculadas en los pasos anteriores, se simula el número de lluvias que afectarán en el 2011 por mes al D.F. haciendo uso de números aleatorios y la función Poisson inversa (Número días con lluvias por mes). A continuación se ejemplifican 10 simulaciones:

Tabla 4.2.5-3 Función Poisson inversa (Número días con lluvias por mes).

Simulación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	0	0	1	8	8	12	23	13	15	4	4	1
2	1	1	4	3	7	9	11	18	16	7	5	0
3	1	4	2	4	8	16	13	27	20	9	5	0
4	0	3	4	1	11	11	18	16	18	7	5	0
5	0	0	0	1	12	10	20	18	12	6	2	0
6	1	5	1	5	6	13	16	17	16	11	5	0
7	1	0	0	7	7	15	24	21	21	5	3	0
8	0	3	3	4	9	11	19	16	18	9	6	0
9	3	0	3	3	7	13	19	26	18	7	3	0
10	0	0	6	7	9	18	12	18	11	14	5	0

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.2.5-3 Función Poisson inversa (Número días con lluvias por mes).



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior podemos encontrar los valores obtenidos de la aplicación de la función Poisson inversa, es decir, para la simulación 1 no se tendrán lluvias hasta marzo sólo con una ocurrencia y 8 en abril y mayo y así sucesivamente, siendo diferentes ejecuciones del proceso de manera horizontal.

El haber obtenido las funciones estadísticas Poisson permite simular con número aleatorios las lluvias que afectarán la región seleccionada, donde se puede observar coherencia entre los datos simulados con los históricos utilizados; es decir, se han obtenido valores ficticios que se asemejan a la realidad.

#### **4.2.6. Cálculo de la intensidad de las lluvias a través de la función exponencial.**

La función exponencial proporcionará la intensidad asociada a cada lluvia (en mm), en relación al mes en el que ocurre el fenómeno. De acuerdo a los estimadores para la función exponencial se obtiene su función de densidad y distribución de probabilidad:

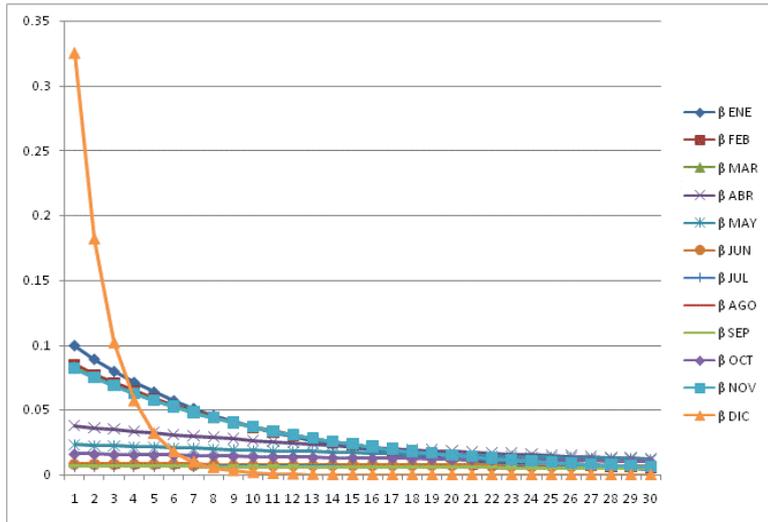
En la tabla 4.2.6-1 se muestra la función de distribución calculada a partir de los estimadores obtenidos anteriormente; mientras que en la gráfica se muestra el comportamiento de este cálculo, siendo los niveles más bajos (mililitros de lluvia) los que tienen una mayor probabilidad asociada, debido a las láminas de lluvia histórica registradas que definen este comportamiento.

Tabla 4.2.6-1 Función de distribución de probabilidad exponencial  $\beta$ .

x (mm)	$\beta$ ENE	$\beta$ FEB	$\beta$ MAR	$\beta$ ABR	$\beta$ MAY	$\beta$ JUN	$\beta$ JUL	$\beta$ AGO	$\beta$ SEP	$\beta$ OCT	$\beta$ NOV	$\beta$ DIC
1	0.099623	0.084689	0.082872	0.037637	0.023009	0.008018	0.006463	0.006288	0.006387	0.01591	0.081586	0.324893
2	0.089125	0.077173	0.075683	0.036192	0.022473	0.007954	0.006421	0.006248	0.006346	0.015655	0.074624	0.18179
3	0.079733	0.070324	0.069118	0.034803	0.02195	0.00789	0.006379	0.006209	0.006305	0.015404	0.068256	0.101718
4	0.07133	0.064083	0.063122	0.033467	0.021439	0.007826	0.006338	0.00617	0.006265	0.015157	0.062431	0.056915
5	0.063813	0.058395	0.057646	0.032183	0.02094	0.007763	0.006297	0.006131	0.006225	0.014914	0.057103	0.031846
6	0.057089	0.053213	0.052645	0.030947	0.020452	0.007701	0.006256	0.006092	0.006185	0.014675	0.05223	0.017819
7	0.051072	0.04849	0.048078	0.029759	0.019976	0.007639	0.006215	0.006054	0.006145	0.014439	0.047773	0.00997
8	0.04569	0.044187	0.043908	0.028617	0.019511	0.007577	0.006175	0.006015	0.006106	0.014208	0.043697	0.005579
9	0.040875	0.040265	0.040099	0.027519	0.019057	0.007516	0.006135	0.005977	0.006067	0.01398	0.039968	0.003122
10	0.036568	0.036692	0.03662	0.026462	0.018613	0.007456	0.006095	0.00594	0.006028	0.013755	0.036557	0.001747
11	0.032714	0.033435	0.033444	0.025447	0.01818	0.007396	0.006056	0.005902	0.005989	0.013535	0.033438	0.000977
12	0.029267	0.030468	0.030542	0.02447	0.017756	0.007336	0.006016	0.005865	0.005951	0.013318	0.030584	0.000547
13	0.026183	0.027764	0.027893	0.023531	0.017343	0.007277	0.005977	0.005828	0.005913	0.013104	0.027974	0.000306
14	0.023423	0.0253	0.025473	0.022628	0.016939	0.007218	0.005939	0.005791	0.005875	0.012894	0.025587	0.000171
15	0.020955	0.023055	0.023263	0.021759	0.016545	0.00716	0.0059	0.005755	0.005837	0.012687	0.023404	9.58E-05
16	0.018747	0.021009	0.021245	0.020924	0.01616	0.007103	0.005862	0.005718	0.0058	0.012484	0.021406	5.36E-05
17	0.016771	0.019144	0.019402	0.020121	0.015783	0.007046	0.005824	0.005682	0.005763	0.012283	0.01958	0.00003
18	0.015004	0.017445	0.017719	0.019349	0.015416	0.006989	0.005786	0.005647	0.005726	0.012086	0.017909	1.68E-05
19	0.013423	0.015897	0.016182	0.018606	0.015057	0.006933	0.005749	0.005611	0.005689	0.011893	0.016381	9.39E-06
20	0.012008	0.014486	0.014778	0.017892	0.014706	0.006877	0.005711	0.005576	0.005653	0.011702	0.014983	5.25E-06
21	0.010743	0.0132	0.013496	0.017205	0.014364	0.006821	0.005674	0.00554	0.005616	0.011514	0.013704	2.94E-06
22	0.009611	0.012029	0.012326	0.016545	0.01403	0.006766	0.005637	0.005505	0.00558	0.011329	0.012535	1.64E-06
23	0.008598	0.010961	0.011256	0.01591	0.013703	0.006712	0.005601	0.005471	0.005545	0.011148	0.011465	9.2E-07
24	0.007692	0.009989	0.01028	0.015299	0.013384	0.006658	0.005565	0.005436	0.005509	0.010969	0.010487	5.15E-07
25	0.006881	0.009102	0.009388	0.014712	0.013072	0.006604	0.005528	0.005402	0.005474	0.010793	0.009592	2.88E-07
26	0.006156	0.008294	0.008574	0.014147	0.012768	0.006551	0.005493	0.005368	0.005439	0.01062	0.008773	1.61E-07
27	0.005507	0.007558	0.00783	0.013604	0.012471	0.006498	0.005457	0.005334	0.005404	0.010449	0.008025	9.02E-08
28	0.004927	0.006887	0.007151	0.013082	0.01218	0.006446	0.005422	0.0053	0.005369	0.010282	0.00734	5.05E-08
29	0.004408	0.006276	0.00653	0.01258	0.011897	0.006394	0.005387	0.005267	0.005335	0.010117	0.006714	2.82E-08
30	0.003943	0.005719	0.005964	0.012097	0.01162	0.006343	0.005352	0.005234	0.005301	0.009955	0.006141	1.58E-08
31	0.003528	0.005212	0.005447	0.011633	0.011349	0.006292	0.005317	0.005201	0.005267	0.009795	0.005617	8.84E-09
32	0.003156	0.004749	0.004974	0.011186	0.011085	0.006241	0.005282	0.005168	0.005233	0.009638	0.005137	4.95E-09
33	0.002823	0.004328	0.004543	0.010757	0.010827	0.006191	0.005248	0.005135	0.005199	0.009483	0.004699	2.77E-09
34	0.002526	0.003943	0.004148	0.010344	0.010575	0.006141	0.005214	0.005103	0.005166	0.009331	0.004298	1.55E-09
35	0.00226	0.003594	0.003789	0.009947	0.010329	0.006091	0.00518	0.005071	0.005133	0.009182	0.003931	8.67E-10
36	0.002022	0.003275	0.00346	0.009565	0.010088	0.006042	0.005147	0.005039	0.0051	0.009034	0.003596	4.85E-10
37	0.001808	0.002984	0.00316	0.009198	0.009853	0.005994	0.005113	0.005007	0.005067	0.008889	0.003289	2.71E-10
38	0.001618	0.002719	0.002886	0.008845	0.009624	0.005946	0.00508	0.004975	0.005035	0.008747	0.003008	1.52E-10
39	0.001447	0.002478	0.002635	0.008505	0.0094	0.005898	0.005047	0.004944	0.005003	0.008607	0.002752	8.5E-11
40	0.001295	0.002258	0.002407	0.008179	0.009181	0.00585	0.005015	0.004913	0.004971	0.008468	0.002517	4.75E-11
41	0.001158	0.002058	0.002198	0.007865	0.008967	0.005803	0.004982	0.004882	0.004939	0.008333	0.002302	2.66E-11
42	0.001036	0.001875	0.002007	0.007563	0.008759	0.005756	0.00495	0.004851	0.004907	0.008199	0.002106	1.49E-11
43	0.000927	0.001709	0.001833	0.007273	0.008555	0.00571	0.004918	0.00482	0.004876	0.008067	0.001926	8.33E-12
44	0.000829	0.001557	0.001674	0.006994	0.008355	0.005664	0.004886	0.00479	0.004844	0.007938	0.001762	4.66E-12
45	0.000742	0.001419	0.001529	0.006725	0.008161	0.005618	0.004854	0.00476	0.004813	0.007811	0.001611	2.61E-12
46	0.000664	0.001293	0.001396	0.006467	0.007971	0.005573	0.004823	0.00473	0.004783	0.007685	0.001474	1.46E-12
47	0.000594	0.001178	0.001275	0.006219	0.007785	0.005528	0.004791	0.0047	0.004752	0.007562	0.001348	8.16E-13
48	0.000531	0.001074	0.001165	0.00598	0.007604	0.005484	0.00476	0.00467	0.004722	0.007441	0.001233	4.57E-13
49	0.000475	0.000978	0.001064	0.005751	0.007427	0.00544	0.004729	0.004641	0.004691	0.007322	0.001128	2.56E-13
50	0.000425	0.000891	0.000971	0.00553	0.007254	0.005396	0.004699	0.004612	0.004661	0.007204	0.001031	1.43E-13

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.2.6-1 Función de Distribución de probabilidad.



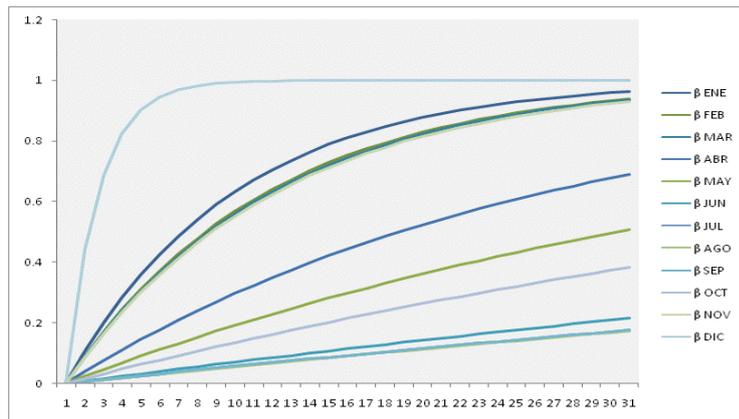
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2.6-2 Función de densidad de probabilidad exponencial  $\beta$ .

x (mm)	$\beta$ ENE	$\beta$ FEB	$\beta$ MAR	$\beta$ ABR	$\beta$ MAY	$\beta$ JUN	$\beta$ JUL	$\beta$ AGO	$\beta$ SEP	$\beta$ OCT	$\beta$ NOV	$\beta$ DIC
1	0.105382	0.088749	0.086749	0.038383	0.023282	0.008051	0.006484	0.006308	0.006407	0.01604	0.085335	0.440463
2	0.199659	0.169621	0.165972	0.075293	0.046022	0.016037	0.012925	0.012576	0.012774	0.031822	0.163388	0.686918
3	0.284	0.243317	0.238323	0.110786	0.068232	0.023958	0.019325	0.018804	0.0191	0.047351	0.23478	0.824819
4	0.359454	0.310471	0.304397	0.144916	0.089925	0.031816	0.025684	0.024993	0.025385	0.062631	0.30008	0.90198
5	0.426956	0.371666	0.36474	0.177737	0.111113	0.039611	0.032001	0.031144	0.03163	0.077666	0.359807	0.945154
6	0.487345	0.42743	0.419848	0.209298	0.131808	0.047343	0.038277	0.037255	0.037834	0.09246	0.414438	0.969312
7	0.541369	0.478245	0.470175	0.239647	0.152021	0.055012	0.044512	0.043328	0.043999	0.107017	0.464407	0.982829
8	0.589701	0.52455	0.516137	0.268832	0.171764	0.06262	0.050707	0.049362	0.050125	0.12134	0.510112	0.990392
9	0.632939	0.566746	0.558111	0.296896	0.191047	0.070167	0.056862	0.055359	0.056211	0.135433	0.551916	0.994624
10	0.671621	0.605197	0.596444	0.323883	0.209881	0.077653	0.062977	0.061317	0.062259	0.1493	0.590153	0.996992
11	0.706226	0.640235	0.631452	0.349835	0.228276	0.085078	0.069053	0.067238	0.068267	0.162945	0.625128	0.998317
12	0.737184	0.672164	0.663423	0.37479	0.246243	0.092444	0.075089	0.073122	0.074237	0.176371	0.657117	0.999058
13	0.764881	0.701259	0.692621	0.398787	0.263792	0.099751	0.081085	0.078969	0.080169	0.189582	0.686377	0.999473
14	0.789658	0.727772	0.719286	0.421863	0.280932	0.106998	0.087043	0.084778	0.086063	0.202581	0.71314	0.999705
15	0.811824	0.751932	0.743637	0.444054	0.297674	0.114188	0.092963	0.090551	0.091919	0.215371	0.737619	0.999835
16	0.831655	0.773948	0.765876	0.465393	0.314025	0.121319	0.098843	0.096288	0.097738	0.227956	0.760009	0.999908
17	0.849395	0.79401	0.786186	0.485913	0.329996	0.128393	0.104686	0.101988	0.103519	0.240339	0.780489	0.999948
18	0.865266	0.812291	0.804734	0.505645	0.345595	0.13541	0.110491	0.107653	0.109263	0.252524	0.799221	0.999971
19	0.879465	0.82895	0.821673	0.52462	0.36083	0.142371	0.116258	0.113282	0.11497	0.264513	0.816354	0.999984
20	0.892167	0.84413	0.837143	0.542866	0.375711	0.149276	0.121988	0.118875	0.120641	0.27631	0.832026	0.999991
21	0.903531	0.857964	0.851271	0.560412	0.390246	0.156125	0.127681	0.124433	0.126276	0.287918	0.84636	0.999995
22	0.913697	0.870569	0.864173	0.577285	0.404442	0.162918	0.133337	0.129956	0.131874	0.299339	0.859471	0.999997
23	0.922792	0.882056	0.875955	0.59351	0.418308	0.169657	0.138956	0.135444	0.137437	0.310577	0.871463	0.999998
24	0.930928	0.892524	0.886716	0.609112	0.431851	0.176342	0.144539	0.140897	0.142963	0.321635	0.882431	0.999999
25	0.938207	0.902062	0.896543	0.624116	0.445078	0.182973	0.150085	0.146316	0.148455	0.332516	0.892464	1
26	0.944719	0.910754	0.905518	0.638543	0.457998	0.189551	0.155596	0.151701	0.153911	0.343222	0.901641	1
27	0.950544	0.918674	0.913714	0.652417	0.470617	0.196076	0.161071	0.157052	0.159332	0.353757	0.910034	1
28	0.955756	0.925892	0.921199	0.665758	0.482942	0.202548	0.16651	0.162369	0.164719	0.364122	0.917711	1
29	0.960419	0.932469	0.928035	0.678587	0.49498	0.208968	0.171914	0.167653	0.170071	0.374321	0.924733	1
30	0.96459	0.938462	0.934278	0.690924	0.506737	0.215337	0.177283	0.172903	0.175389	0.384357	0.931156	1

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.2.6-2 Función de densidad de probabilidad.



Fuente: Elaboración propia.

La tabla y gráfica 4.2.6-2 ilustran la función de densidad de probabilidad exponencial que nos permite observar el comportamiento de los parámetros calculados en la simulación por mes. El eje de las abscisas nos permite ver cómo se comportará la densidad de acuerdo al parámetro definido por mes, siendo diciembre el primero en llegar al 1 al ser el mes con menor número de lluvias e intensidad menor.

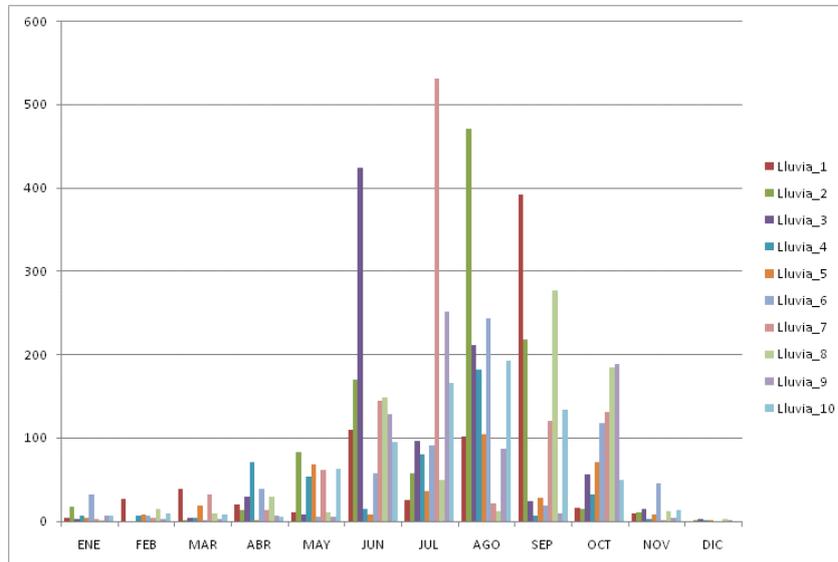
A partir de la función Poisson calculada en los pasos anteriores se simularan escenarios de lluvias mensuales que afectarán al D.F. La tabla y gráfica 4.2.6-3 ejemplifican 10 simulaciones; es decir, para la primer simulación en enero se presentaran 4 lluvias, en febrero 27 y así sucesivamente. Al ver la gráfica se puede comprobar el comportamiento esperado.

Tabla 4.2.6-3 Intensidad de las lluvias por mes (mm por lluvia en cada mes).

NO. LLUVIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	4	27	39	20	11	109	26	102	391	16	9	0
2	17	0	1	13	83	169	57	470	217	15	11	1
3	3	0	4	30	8	423	96	211	24	56	15	3
4	7	6	4	71	53	14	80	182	6	32	2	1
5	4	8	18	1	68	8	36	104	28	71	8	1
6	32	7	2	39	5	57	91	243	19	118	45	0
7	3	4	32	13	62	144	531	22	120	131	2	0
8	2	15	10	29	11	148	50	12	276	184	12	3
9	7	3	3	7	5	128	251	86	9	188	4	1
10	7	10	8	5	63	95	166	192	133	50	13	0

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.2.6-3 Intensidad de las lluvias por mes (mm por lluvia en cada mes).



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.7. Cálculo del número de lluvias y su intensidad.

A través de los cálculos anteriores ha sido posible obtener el número de lluvias que pueden afectar por mes el D.F, así como la intensidad que puede tendrá cada una de éstas de manera individual. Por lo que es necesario unir ambos resultados para poder obtener el total de lluvias por mes y la intensidad que tuvo cada una de ellas.

La función Poisson inversa definirá el número de lluvias que afectarán por cada mes. Se tomará una de las ejecuciones de dicha función para poder ejemplificar el proceso.

Tabla 4.2.7-1 Simulación de total de lluvias por mes en un año.

Simulación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	2	4	1	8	7	11	25	18	18	8	6	1

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se puede apreciar las lluvias que afectarán en un año al D.F. a partir de la simulación.

Es necesario hacer uso de la función exponencial inversa que ha definido la intensidad que tendrá cada una de las lluvias que se han simulado con la función Poisson.

Tabla 4.2.7-2 Simulación de la intensidad de las lluvias por mes en un año.

No. LLUVIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	5	10	55	18	23	48	490	386	77	241	17	1
2	21	38	2	1	125	47	7	261	360	55	20	0
3	9	4	26	67	28	72	62	98	301	70	2	0
4	7	14	5	12	8	217	209	200	359	6	15	0
5	6	0	0	0	27	178	345	523	326	5	13	0
6	5	2	20	35	21	49	150	146	383	15	0	1
7	6	9	7	3	94	76	241	296	328	15	2	0
8	18	8	3	36	25	17	343	153	286	11	3	0
9	3	30	3	3	13	154	23	353	278	121	1	4
10	41	0	9	54	20	198	358	98	212	58	6	2
11	26	4	7	7	4	135	177	172	338	83	2	0
12	3	11	19	6	46	4	31	246	197	43	14	0
13	6	9	20	6	36	118	93	577	1000	49	24	0
14	21	2	11	24	60	74	273	188	226	104	2	0
15	18	25	1	5	9	4	255	24	109	49	7	2
16	4	6	28	3	10	133	46	12	113	88	4	1
17	17	0	15	1	4	102	64	19	74	94	13	1
18	22	1	3	17	16	141	11	46	20	68	7	3
19	6	33	25	13	53	136	38	376	24	174	3	8
20	10	1	5	28	42	140	68	160	51	21	16	2
21	4	1	4	32	61	96	340	274	201	27	11	0
22	2	0	11	37	63	113	289	21	10	66	6	0
23	7	13	15	14	32	120	18	2	205	34	0	0
24	12	12	10	10	18	113	38	140	8	88	11	0
25	5	12	11	35	49	21	143	184	51	247	35	1
26	19	0	16	13	8	104	201	17	14	30	14	0
27	4	4	1	0	47	139	266	442	4	156	2	0
28	6	7	2	8	15	176	2	36	47	11	9	2
29	10	17	5	9	82	542	382	27	66	78	20	0
30	20	7	4	30	4	133	92	21	91	21	11	0

Fuente: Elaboración propia.

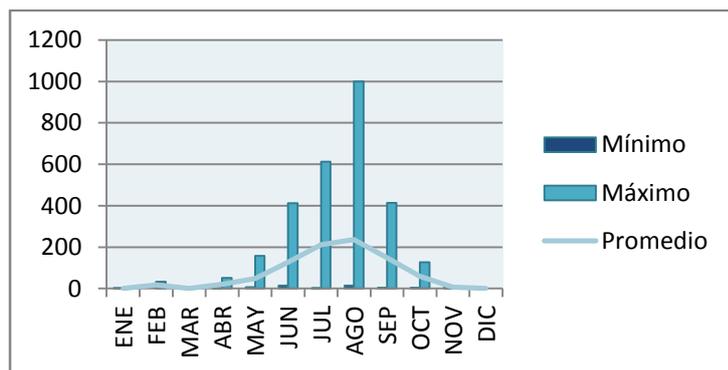
Por lo que a partir de los resultados obtenidos en la tabla 4.3.7-1, se hace la unión de las lluvias con la intensidad de cada una de estas.

Tabla 4.2.7-3 Intensidad de cada lluvia simulada por mes en el año.

LLUVIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1		5	10	55	18	23	48	490	386	77	241	17	1
2		21	38		1	125	47	7	261	360	55	20	
3			4		67	28	72	62	98	301	70	2	
4			14		12	8	217	209	200	359	6	15	
5					0	27	178	345	523	326	5	13	
6					35	21	49	150	146	383	15	0	
7					3	94	76	241	296	328	15		
8					36		17	343	153	286	11		
9							154	23	353	278			
10							198	358	98	212			
11							135	177	172	338			
12								31	246	197			
13								93	577	1000			
14								273	188	226			
15								255	24	109			
16								46	12	113			
17								64	19	74			
18								11	46	20			
19								38					
20								68					
21								340					
22								289					
23								18					
24								38					
25								143					
26													
27													
28													
29													
30													
<b>Mínimo</b>		5	4	55	0	8	17	7	12	20	5	0	1
<b>Máximo</b>		21	38	55	67	125	217	490	577	1000	241	20	1
<b>Promedio</b>		13	16.5	55	21.5	46.571	108.273	164.48	211	277.056	52.25	11.167	1

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.2.7 Intensidad de cada lluvia simulada por mes en el año.



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla y gráfica anterior se puede observar cual es la intensidad de las lluvias (obtenida con la función exponencial) de las lluvias estimadas (función Poisson).

Con la unión anterior de las funciones se ha determinado la frecuencia con la que ocurren las lluvias por mes durante un año. Para poder obtener la prima es necesario asociarlo con su severidad, de acuerdo a la fórmula:

$$P = f * S_m$$

Probabilidad de ocurrencia multiplicada por el valor medio de los mismos. Analizada en el capítulo 4.

#### 4.2.8. Cálculo de la severidad en relación al número de lluvias y su intensidad simuladas.

Para poder obtener la severidad de las viviendas se hará uso de los estudios realizados por los especialistas del CENAPRED, por lo que será necesario utilizar la vulnerabilidad por tipo cada tipo de estructura que tenga una casa; esto permitirá obtener el porcentaje de daño que ha sufrido ésta en relación al tirante (intensidad de las lluvias).

Tabla 4.2.8-1 Vulnerabilidad por tipo de casa en relación al tirante (mm).

Vulnerabilidad Tipo de Casa		I	II	III	IV	V	
Tirante (mm)	0-190	0	0	0	0	0	
	200-390	200	0.03	0.08	0.03	0.02	0.02
	400-590	400	0.1	0.19	0.09	0.06	0.05
	600-790	600	0.45	0.3	0.3	0.09	0.09
	800-990	800	0.74	0.8	0.73	0.4	0.4
	1000-1190	1000	0.92	0.9	0.8	0.42	0.42
	1200-1390	1200	0.92	0.95	0.97	0.48	0.48
	1400-1590	1400	0.98	0.98	0.98	0.48	0.48
	1600-1790	1600	0.98	1	0.99	0.48	0.48
	1800-1990	1800	1	1	1	0.48	0.48
	2000-2490	2000	1	1	1	0.48	0.48
	2500-2990	2500	1	1	1	0.52	0.5
	3000-3990	3000	1	1	1	0.98	0.98
	4000-4990	4000	1	1	1	1	1
	5000-6000	5000	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Además será necesario hacer uso del menaje que representa cada tipo de vivienda.

Tabla 4.2.8-2 Cuantificación del menaje por tipo de vivienda.

Tipo de vivienda	Cuantificación del menaje (\$)
I	\$ 12,500.00
II	\$ 50,000.00
III	\$ 150,500.00
IV	\$ 300,000.00
V	\$ 450,000.00

Fuente: Elaboración propia con datos del CENAPRED.

Con los datos anteriores: cálculo de la frecuencia de las lluvias, así como su intensidad; se procede a obtener el porcentaje de afectación por vivienda para cada una de las tipificaciones definidas, lo que nos permite conocer la Prima Pura de acuerdo a la vulnerabilidad para una vivienda:

Tabla 4.2.8-3 Prima pura de acuerdo a la vulnerabilidad para una vivienda tipo 1 asociada a la intensidad de las lluvias simuladas.

No. LLUVIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.03	0	0.03	0
2	0	0			0	0	0	0	0.03	0.03	0	0
3		0			0	0	0	0	0	0.03	0	0
4		0			0	0	0.03	0.03	0.03	0.03	0	0
5					0	0	0	0.03	0.1	0.03	0	0
6					0	0	0	0	0	0.03	0	0
7					0	0	0	0.03	0.03	0.03	0	
8					0			0	0.03	0	0.03	0
9								0	0	0.03	0.03	
10								0	0.03	0	0.03	
11								0	0	0	0.03	
12								0	0.03	0		
13								0	0.1	0.92		
14								0.03	0	0.03		
15								0.03	0	0		
16								0	0	0		
17								0	0	0		
18								0	0	0		
19								0				
20								0				
21								0.03				
22								0.03				
23								0				
24								0				
25								0				
26												
27												
28												
29												
30												
<b>Mínimo</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Máximo</b>	0	0	0	0	0	0.03	0.1	0.1	0.92	0.03	0	0
<b>Esperanza</b>	0	0	0	0	0	0.002727	0.0148	0.021111	0.069444	0.00375	0	0
<b>Esperanza anual</b>	0.111832828											
<b>Prima Pura</b>	\$											1,397.91

Fuente: Elaboración propia.

Ejemplificación del cálculo de la prima pura para una vivienda tipo 1, de acuerdo a una simulación de la vulnerabilidad causada por lluvias bajo un cálculo Poisson de número de lluvias e intensidad calculada exponencialmente.

Tabla 4.2.8-4 Prima pura de acuerdo a la vulnerabilidad para una vivienda tipo 2 asociada a la intensidad de las lluvias simuladas.

No. LLUVIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	0	0	0	0	0	0	0.19	0.08	0	0.08	0	0
2	0	0		0	0	0	0	0.08	0.08	0	0	
3		0		0	0	0	0	0	0.08	0	0	
4		0		0	0	0.08	0.08	0.08	0.08	0	0	
5				0	0	0	0.08	0.19	0.08	0	0	
6				0	0	0	0	0	0.08	0	0	
7				0	0	0	0.08	0.08	0.08	0		
8				0		0	0.08	0	0.08	0		
9						0	0	0.08	0.08			
10						0	0.08	0	0.08			
11						0	0	0	0.08			
12							0	0.08	0			
13								0.19	0.9			
14							0.08	0	0.08			
15							0.08	0	0			
16							0	0	0			
17							0	0	0			
18							0	0	0			
19							0					
20							0					
21							0.08					
22							0.08					
23							0					
24							0					
25							0					
26												
27												
28												
29												
30												
<b>Mínimo</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Máximo</b>	0	0	0	0	0	0.08	0.19	0.19	0.9	0.08	0	0
<b>Esperanza</b>	0	0	0	0	0	0.007273	0.0364	0.047778	0.098889	0.01	0	0
<b>Esperanza anual</b>	0.200339394											
<b>Prima Pura</b>	5,008.48											

Fuente: Elaboración propia.

Ejemplificación del cálculo de la prima pura para una vivienda tipo 2, de acuerdo a una simulación de la vulnerabilidad causada por lluvias bajo un cálculo Poisson de número de lluvias e intensidad calculada exponencialmente.

Tabla 4.2.8-5 Prima pura de acuerdo a la vulnerabilidad para una vivienda tipo 3 asociada a la intensidad de las lluvias simuladas.

No. LLUVIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	0	0	0	0	0	0	0.09	0.03	0	0.03	0	0
2	0	0		0	0	0	0	0.03	0.03	0	0	0
3		0		0	0	0	0	0	0.03	0	0	0
4		0		0	0	0.03	0.03	0.03	0.03	0	0	0
5				0	0	0	0.03	0.09	0.03	0	0	0
6				0	0	0	0	0	0.03	0	0	0
7				0	0	0	0.03	0.03	0.03	0		
8				0		0	0.03	0	0.03	0		
9						0	0	0.03	0.03			
10						0	0.03	0	0.03			
11						0	0	0	0.03			
12							0	0.03	0			
13								0.09	0.8			
14							0.03	0	0.03			
15							0.03	0	0			
16							0	0	0			
17							0	0	0			
18							0	0	0			
19							0					
20							0					
21							0.03					
22							0.03					
23							0					
24							0					
25							0					
26												
27												
28												
29												
30												
<b>Mínimo</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Máximo</b>	0	0	0	0	0	0.03	0.09	0.09	0.8	0.03	0	0
<b>Esperanza</b>	0	0	0	0	0	0.002727	0.0144	0.02	0.062778	0.00375	0	0
<b>Esperanza anual</b>	0.103655051											
<b>Prima Pura</b>	5,182.75											

Fuente: Elaboración propia.

Ejemplificación del cálculo de la prima pura para una vivienda tipo 3, de acuerdo a una simulación de la vulnerabilidad causada por lluvias bajo un cálculo Poisson de número de lluvias e intensidad calculada exponencialmente.

Tabla 4.2.8-6 Prima pura de acuerdo a la vulnerabilidad para una vivienda tipo 4 asociada a la intensidad de las lluvias simuladas.

No. LLUVIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	0	0	0	0	0	0	0.06	0.02	0	0.02	0	0
2	0	0		0	0	0	0	0.02	0.02	0	0	
3		0		0	0	0	0	0	0.02	0	0	
4		0		0	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	
5				0	0	0	0.02	0.06	0.02	0	0	
6				0	0	0	0	0	0.02	0	0	
7				0	0	0	0.02	0.02	0.02	0		
8				0		0	0.02	0	0.02	0		
9						0	0	0.02	0.02			
10						0	0.02	0	0.02			
11						0	0	0	0.02			
12							0	0.02	0			
13							0	0.06	0.42			
14							0.02	0	0.02			
15							0.02	0	0			
16							0	0	0			
17							0	0	0			
18							0	0	0			
19							0					
20							0					
21							0.02					
22							0.02					
23							0					
24							0					
25							0					
26												
27												
28												
29												
30												
<b>Mínimo</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Máximo</b>	0	0	0	0	0	0.02	0.06	0.06	0.42	0.02	0	0
<b>Esperanza</b>	0	0	0	0	0	0.001818	0.0096	0.013333	0.035556	0.0025	0	0
<b>Esperanza anual</b>	0.062807071											
<b>Prima Pura</b>	7,850.88											

Fuente: Elaboración propia.

Ejemplificación del cálculo de la prima pura para una vivienda tipo 4, de acuerdo a una simulación de la vulnerabilidad causada por lluvias bajo un cálculo Poisson de número de lluvias e intensidad calculada exponencialmente.

Tabla 4.2.8-7 Prima pura de acuerdo a la vulnerabilidad para una vivienda tipo 5 asociada a la intensidad de las lluvias simuladas.

No. LLUVIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	0	0	0	0	0	0	0.05	0.02	0	0.02	0	0
2	0	0		0	0	0	0	0.02	0.02	0	0	0
3		0		0	0	0	0	0	0.02	0	0	0
4		0		0	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0
5				0	0	0	0.02	0.05	0.02	0	0	0
6				0	0	0	0	0	0.02	0	0	0
7				0	0	0	0.02	0.02	0.02	0	0	0
8				0		0	0.02	0	0.02	0		
9						0	0	0.02	0.02			
10						0	0.02	0	0.02			
11						0	0	0	0.02			
12							0	0.02	0			
13							0	0.05	0.42			
14							0.02	0	0.02			
15							0.02	0	0			
16							0	0	0			
17							0	0	0			
18							0	0	0			
19							0					
20							0					
21							0.02					
22							0.02					
23							0					
24							0					
25							0					
26												
27												
28												
29												
30												
<b>Mínimo</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Máximo</b>	0	0	0	0	0	0.02	0.05	0.05	0.42	0.02	0	0
<b>Esperanza</b>	0	0	0	0	0	0.001818	0.0092	0.012222	0.035556	0.0025	0	0
<b>Esperanza anual</b>	0.06129596											
<b>Prima Pura</b>	15,323.99											

Fuente: Elaboración propia.

Ejemplificación del cálculo de la prima pura para una vivienda tipo 5, de acuerdo a una simulación de la vulnerabilidad causada por lluvias bajo un cálculo Poisson de número de lluvias e intensidad calculada exponencialmente.

A partir de los cálculos obtenidos anteriormente se tiene que la prima pura para cada nivel vivienda, de acuerdo a la simulación realizada, es:

Tabla 4.2.8-8 Prima pura por nivel de vivienda de acuerdo a la simulación.

NIVEL CASA	PRIMA PURA
I	\$ 1,397.91
II	\$ 5,008.48
III	\$ 5,182.75
IV	\$ 7,850.88
V	\$ 15,323.99

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que una sola simulación no puede determinar la prima pura final pues se debe tener en cuenta el grado de desviación asociado, se ejecutó el proceso con diferente número de iteraciones, para revisar el comportamiento que se tiene del cálculo y verificar en que iteración se homogeneizaba el monto. Los resultados son:

Tabla 4.2.8-9 Media de las Primas puras por nivel de vivienda de acuerdo a las simulaciones.

No. Iteración	Nivel de Casa I	Nivel de Casa II	Nivel de Casa III	Nivel de Casa IV	Nivel de Casa V
S 10	\$ 953.68	\$ 2,974.37	\$ 3,370.15	\$ 4,702.90	\$ 8,987.35
S 100	\$ 991.01	\$ 3,253.00	\$ 3,478.49	\$ 4,935.47	\$ 9,368.76
S 200	\$ 1,039.19	\$ 3,369.02	\$ 3,627.61	\$ 5,109.87	\$ 9,694.61
S 500	\$ 1,065.43	\$ 3,414.25	\$ 3,712.14	\$ 5,201.42	\$ 9,876.71
S 1000	\$ 1,042.89	\$ 3,374.09	\$ 3,641.25	\$ 5,125.14	\$ 9,729.46
S 5000	\$ 1,046.53	\$ 3,370.24	\$ 3,644.58	\$ 5,109.13	\$ 9,718.19
S 10000	\$ 1,041.48	\$ 3,357.45	\$ 3,626.98	\$ 5,086.10	\$ 9,672.28
S 100000	\$ 1,035.75	\$ 3,352.66	\$ 3,612.23	\$ 5,076.60	\$ 9,652.19
S 150000	\$ 1,035.70	\$ 3,351.19	\$ 3,611.24	\$ 5,073.23	\$ 9,646.90
S 200000	\$ 1,035.63	\$ 3,350.84	\$ 3,611.09	\$ 5,073.13	\$ 9,646.90

Fuente: Elaboración propia.

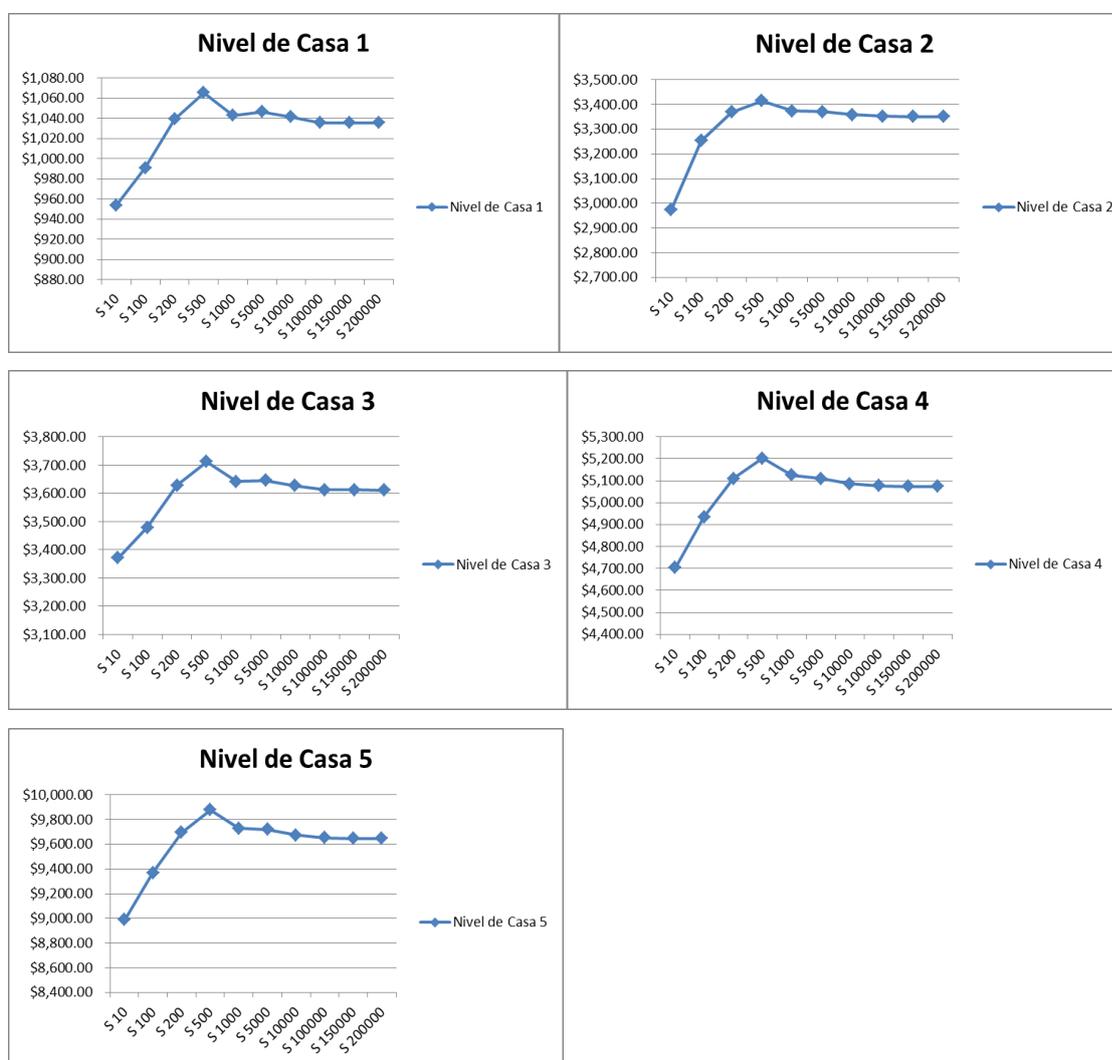
Donde la iteración en la que se homogeneizaba el costo es:

Tabla 4.2.8-10 Punto de inflexión en simulación de la prima pura por nivel de casa.

Tipo de vivienda	No. iteración	Costo Final
I	176,905	\$ 1,035.63
II	191,516	\$ 3,350.84
III	199,875	\$ 3,611.09
IV	199,920	\$ 5,073.13
V	199,065	\$ 9,646.90

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.2.8 Media de las primas puras por nivel de vivienda de acuerdo a las simulaciones.



Fuente: Elaboración propia.

Por lo que el valor de la prima pura que se tomará es:

No. Iteraciones	NIVEL CASA				
	I	II	III	IV	V
200,000	\$1,035.63	\$3,350.84	\$3,611.09	\$5,073.13	\$9,646.90

## 5. Conclusiones

Las inundaciones son fenómenos naturales de gran importancia debido al alto impacto social, económico y ambiental que conllevan; la elevación de unos cuantos centímetros sobre el nivel promedio puede ocasionar una gran afectación, de ahí la importancia de su estudio y el contar con herramientas que permitan tener un conocimiento sobre la mitigación del riesgo.

Casi todos los lugares sobre la tierra tienen asociada una probabilidad de que ocurra una inundación, pues ésta puede darse debido a diversos factores. Además, hay que agregar que las modificaciones realizadas por el hombre sobre el medio ambiente afectan de manera directa el tiempo de respuesta de vaciado, incrementando así la posibilidad de inundar un área.

Si bien el número de defunciones asociado a una inundación puede no ser alto, en comparación con otros fenómenos naturales, a nivel monetario sí es de los fenómenos que dejan una afectación a gran nivel.

Como se ha podido observar en el capítulo dos, los costos asociados a los desastres que han afectado a México en los últimos años han ido en aumento, tanto en número de eventos, como en el costo asociado; ejemplo de lo anterior fue la inundación que afectó Tabasco en el 2007, donde el costo se puede comparar con el Sismo de 1985 de la Ciudad de México, aunque se debe tener en cuenta que la afectación fue sobre un sólo estado.

Debido a la importancia que han cobrado los fenómenos naturales y en especial las inundaciones, se debe trabajar en su análisis y entendimiento para estar preparados, e incluso mitigar la afectación que tienen sobre la población. Por lo tanto, el riesgo de inundación es de los más importantes debido a la frecuencia, costo y principalmente número de víctimas asociadas.

La mitigación del riesgo no solo involucra un cambio en los sistemas de alerta y la respuesta de la población, también es importante contar con metodologías de cálculo que nos permitan prever el número de eventos y su intensidad asociada; lo anterior

permitirá asociar el costo monetario que puede acarrear un impacto de este tipo de naturaleza.

El presente trabajo se ha centrado en las inundaciones que se generan a partir de lluvias, es decir, en las inundaciones pluviales que son las que actualmente tienen un mayor impacto en el área de estudio: Distrito Federal. Se han analizado diversas metodologías para el cálculo del riesgo de sufrir una inundación: CNSF, CENAPRED y la Ley Fuga como la combinación de una función exponencial y Poisson.

Se ha optado por considerar la Ley Fuga en el proceso del cálculo del riesgo asociado debido a sus principios:

- La lluvia es un proceso sin memoria; la probabilidad de que ocurra cada evento es independiente entre sí, en lo cual nos ayuda la distribución exponencial, considerando que la altura de la lámina de lluvia de cada evento sigue esta distribución.
- El número de eventos (días con lluvia) registrados en una estación de medición en un intervalo  $t$ , sigue una distribución de Poisson, donde esta distribución puede ser aplicada a eventos raros, puesto que al ser una variable discreta, es una variable de conteo que representa la frecuencia esperada del fenómeno modelado.

La unión de ambas funciones ha permitido contar con la variable  $S$  que determinará el número aleatorio  $N$  de lluvias que habrá por mes (siguiendo una distribución Poisson) y la altura de la lámina de lluvia asociada a cada evento (siguiendo una distribución exponencial); es decir, se tendrá por mes el número de lluvias que afectaran y la intensidad de cada una de ellas, tomando como base para el cálculo los registros históricos de CONAGUA.

Considerando la Ley Fuga, se ha realizado la simulación de eventos que pueden afectar al Distrito Federal, midiendo la afectación de una vivienda por las lluvias ocurridas en un año. Con la ejecución del proceso se ha podido traducir el riesgo en

un monto monetario al realizar el cálculo de la prima pura de un seguro, considerando la cobertura de inundación por lluvia como un riesgo individual.

Este desarrollo puede ser utilizado como método de prevención de riesgo por las personas, aseguradoras o incluso el Gobierno, permitiendo contar con un método de respuesta ante un evento desafortunado, pues actualmente en México se cuenta con programas para desastres naturales, pero más enfocados a la reacción (Fondo para Desastres Naturales: FONDEN) que a la prevención.

A nivel asegurador, no se cuenta con un producto que pueda ofrecer una cobertura contra un riesgo por inundación causado por lluvias de manera individual, la cobertura se oferta en conjunto con una serie de eventos hidrometeorológicos aunado a otras coberturas. El considerar el riesgo de manera individual permitirá contar con un mayor grado de precisión al tener en cuenta sólo el evento en cuestión, disminuyendo el costo de la prima, al no tener que contratar las demás coberturas.

Con el cálculo de la prima se ha podido observar que es posible cubrir el riesgo con menos del 10% del costo del menaje de cada tipo de vivienda, lo que permitirá contar con seguridad y protección ante un evento de esta naturaleza, permitiendo que las personas puedan acceder al producto asegurando su patrimonio, pues las estadísticas han permitido observar que el impacto que conllevan consigo las inundaciones, dan la posibilidad de independizar la cobertura tratándola como un riesgo individual.

## 6. Anexos

En el presente anexo se enunciarán los procesos generados para la ejemplificación de la prima pura a través de la simulación de escenarios de lluvias con el cálculo del número de eventos con una función Poisson y la intensidad asociada a los mismos a con una función exponencial. Este proceso ha sido generado en un programa Excel.

El primer paso es obtener los datos generales, como:

- precipitación media en mm por lluvia.
- registro de días con lluvia
- histórico de días de lluvia (últimos diez años)
- temporalidad y
- ubicación.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with two tables. The first table, titled 'Precipitación Media en mm por mes (Exponencial)', displays monthly precipitation data from 2001 to 2010, along with minimum, maximum, and average values. The second table, titled 'Registro de días con lluvia, periodicidad mensual', shows the number of rainy days and precipitation per day for each month.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Promedio Anual
2001	2.3	8.5	8.5	55.3	58	148.8	162.1	162.1	163	43.7	7.3	3.5	88.64
2002	8.5	2.6	15.3	32.7	28.7	88.1	150.6	102.6	191	88.4	23.4	0.7	84.48
2003	0.3	1.5	14	78.9	11	194.7	156.4	156.2	153.5	56.2	11.5	0.1	84.00
2004	25.3	0.3	23	19	48.5	142.3	16.7	144.1	150.7	53.1	6.1	0.9	80.75
2005	5.8	4.5	3.9	21.3	27.1	30.3	133.8	175.4	14	36	9.2	1	53.78
2006	2.2	1.2	11.8	27.6	75.7	105.6	168.6	215.7	153.8	77.4	38.7	4.3	73.53
2007	6	22	20.4	21.4	60.9	194.8	173.8	168.5	172.8	38	7.2	1.6	86.43
2008	0.1	2.5	3.1	39.4	45.6	152.6	164	164.7	115.6	37.7	6	0	69.06
2009	13.2	8.8	8.8	5.3	41.1	86.3	133.6	143	217.8	72.1	0.7	3.4	59.43
2010	25.8	57.3	14	14.3	27.3	142	143	143	143	143	143	143	25.38
Mínimo	0.1	0.1	1.6	5.3	11	86.3	133.6	143	143	64.1	37.7	0	34.36
Máximo	6.38	19.76	11.02	25.58	42.45	193.71	253.73	260.03	255.57	81.94	11.21	1.72	

MES	PRECIPITACION	DÍAS DE LLUVIA	PRECIPITACION POR DIA
Enero	3.00	2.00	4.50
Febrero	3.00	2.00	4.50
Marzo	13.00	3.00	4.33
Abril	27.00	6.00	4.50
Mayo	50.00	11.00	4.46
Junio	157.00	17.00	3.24
Julio	153.00	20.00	3.31
Agosto	172.00	18.00	3.61
Septiembre	144.00	16.00	3.69
Octubre	61.00	3.00	7.63
Noviembre	6.00	3.00	2.00
Diciembre	6.00	2.00	4.00
SUMA	849.00	110.00	73.00
PROMEDIO	70.67	9.17	6.09

MACRO Simulación de la Prima Pura.xlsx - Excel

Sandy Yanadi Pérez Carrillo

Calibrar 11 A A' Wrap Text General Conditional Formatting Cell Styles Insert Delete Format AutoSum Fill Sort & Find & Filter Select Clear

Clipboard Font Alignment Number Styles Editing

P63

Registro de días con lluvia de los últimos 10 años (Poisson)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Promedio anual
2001	1	2	2	12	13	16	19	17	8	4	1	0	9.17
2002	2	1	4	7	7	10	22	11	20	12	12	0	9.90
2003	0	0	3	4	4	21	17	15	17	7	6	0	7.83
2004	0	0	5	4	11	15	13	15	16	7	3	0	7.92
2005	1	1	1	5	5	10	18	18	7	12	3	0	6.75
2006	0	0	3	6	17	11	19	22	16	10	19	1	10.33
2007	1	5	5	5	14	11	20	18	18	5	4	0	8.93
2008	0	1	1	9	10	17	19	17	12	5	0	0	7.58
2009	3	2	2	1	9	9	12	15	24	9	0	0	7.25
2010	4	13	0	3	6	10	10	10	10	10	10	10	6.60
Máximo	0	13	5	12	17	21	22	22	24	12	19	1	14.50
Mínimo	0	0	0	1	4	8	12	11	7	5	0	0	4.88
Promedio	2	3	3	6	10	14	16	17	17	9	6	1	

Temporalidad del seguro: 1 año

Ubicación: México, D. F.

Vulnerabilidad por tipo de casa en relación al tramo (m)

Tipo de casa	Tramo (m)														
	0.00 - 0.20	0.20 - 0.40	0.40 - 0.60	0.60 - 0.80	0.80 - 1.00	1.00 - 1.20	1.20 - 1.40	1.40 - 1.60	1.60 - 1.80	1.80 - 2.00	2.00 - 2.50	2.50 - 3.00	3.00 - 4.00	4.00 - 5.00	5.00 - 6.00
I	0	0.03	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1	1	1	1	1
II	0	0.03	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1	1	1	1	1
III	0	0.03	0.03	0.3	0.3	0.73	0.8	0.97	0.98	0.99	1	1	1	1	1
IV	0	0.02	0.06	0.03	0.4	0.42	0.46	0.48	0.48	0.48	0.48	0.52	0.58	1	1
V	0	0.02	0.05	0.05	0.4	0.42	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.5	0.58	1	1

Datos Simulación Poisson Simulación Exponencial Simulación MEDIA

A partir de la información básica se construye la función de distribución y densidad Poisson:

MACRO Simulación de la Prima Pura.xlsx - Excel

Sandy Yanadi Pérez Carrillo

Calibrar 11 A A' Wrap Text General Conditional Formatting Cell Styles Insert Delete Format AutoSum Fill Sort & Find & Filter Select Clear

Clipboard Font Alignment Number Styles Editing

B18

Simulación Poisson

Entender de parámetros para el d.p. Poisson. Días de lluvia por mes

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Promedio
2001	1	2	2	12	13	16	19	17	8	4	1	0	9.17
2002	2	1	4	7	7	10	22	11	20	12	12	0	9.90
2003	0	0	3	4	4	21	17	15	17	7	6	0	7.83
2004	0	0	5	4	11	15	13	15	16	7	3	0	7.92
2005	1	1	1	5	5	10	18	18	7	12	3	0	6.75
2006	0	0	3	6	17	11	19	22	16	10	19	1	10.33
2007	1	5	5	5	14	11	20	18	18	5	4	0	8.93
2008	0	1	1	9	10	17	19	17	12	5	0	0	7.58
2009	3	2	2	1	9	9	12	15	24	9	0	0	7.25
2010	4	13	0	3	6	10	10	10	10	10	10	10	6.60
Máximo	0	13	5	12	17	21	22	22	24	12	19	1	14.50
Mínimo	0	0	0	1	4	8	12	11	7	5	0	0	4.88
Promedio	2	3	3	6	10	14	16	17	17	9	6	1	

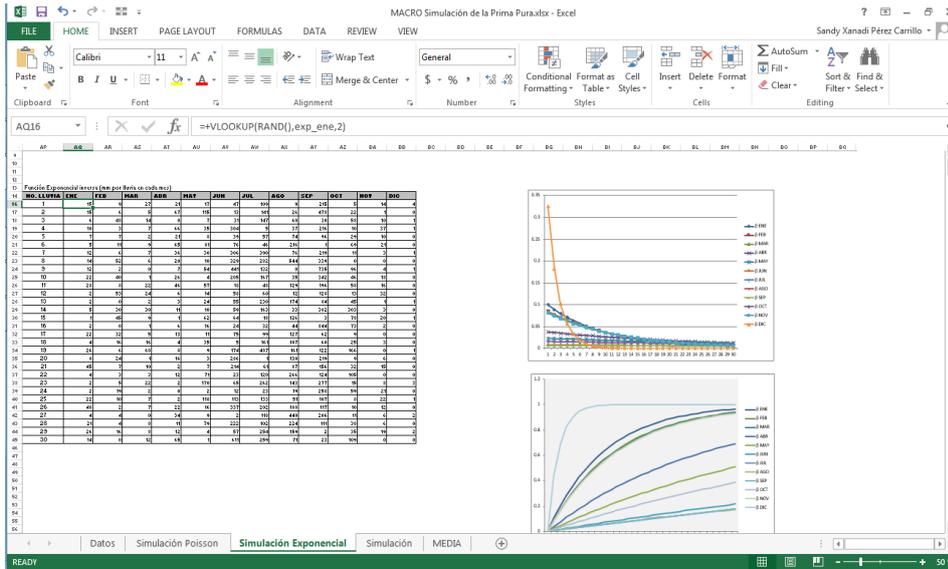
Función de densidad de probabilidad Poisson

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Promedio
2001	1	2	2	12	13	16	19	17	8	4	1	0	9.17
2002	2	1	4	7	7	10	22	11	20	12	12	0	9.90
2003	0	0	3	4	4	21	17	15	17	7	6	0	7.83
2004	0	0	5	4	11	15	13	15	16	7	3	0	7.92
2005	1	1	1	5	5	10	18	18	7	12	3	0	6.75
2006	0	0	3	6	17	11	19	22	16	10	19	1	10.33
2007	1	5	5	5	14	11	20	18	18	5	4	0	8.93
2008	0	1	1	9	10	17	19	17	12	5	0	0	7.58
2009	3	2	2	1	9	9	12	15	24	9	0	0	7.25
2010	4	13	0	3	6	10	10	10	10	10	10	10	6.60
Máximo	0	13	5	12	17	21	22	22	24	12	19	1	14.50
Mínimo	0	0	0	1	4	8	12	11	7	5	0	0	4.88
Promedio	2	3	3	6	10	14	16	17	17	9	6	1	

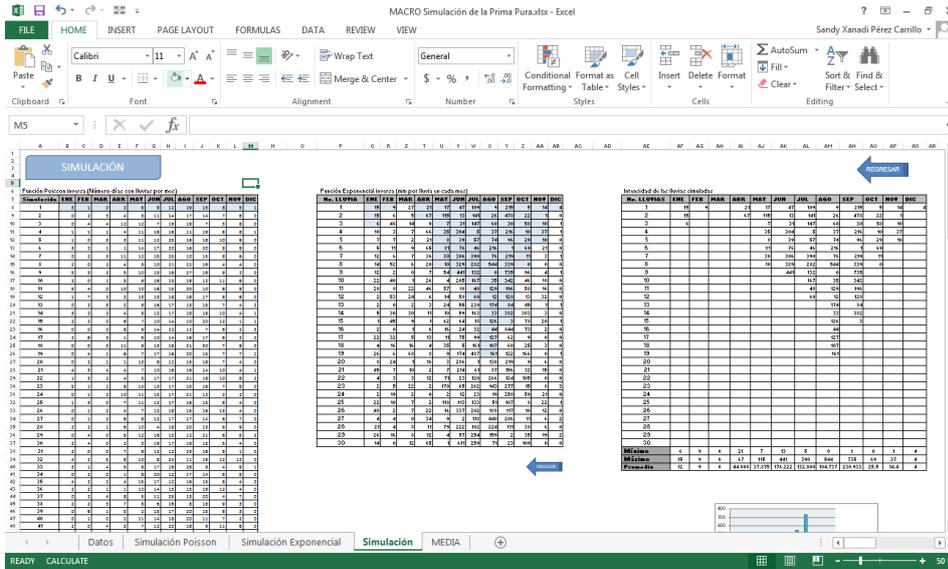
Datos Simulación Poisson Simulación Exponencial Simulación MEDIA

Para obtener el número de lluvias esperado, se generan números aleatorios entre 0 y 1 considerandolos como probabilidad de ocurrencia; lo que ahora se busca es el número entero que generó dicho número, por lo que se hace uso de la función vlookup y así se obtiene la simulación inversa Poisson que nos permite tener el número de lluvias que afectan al D.F. por mes.

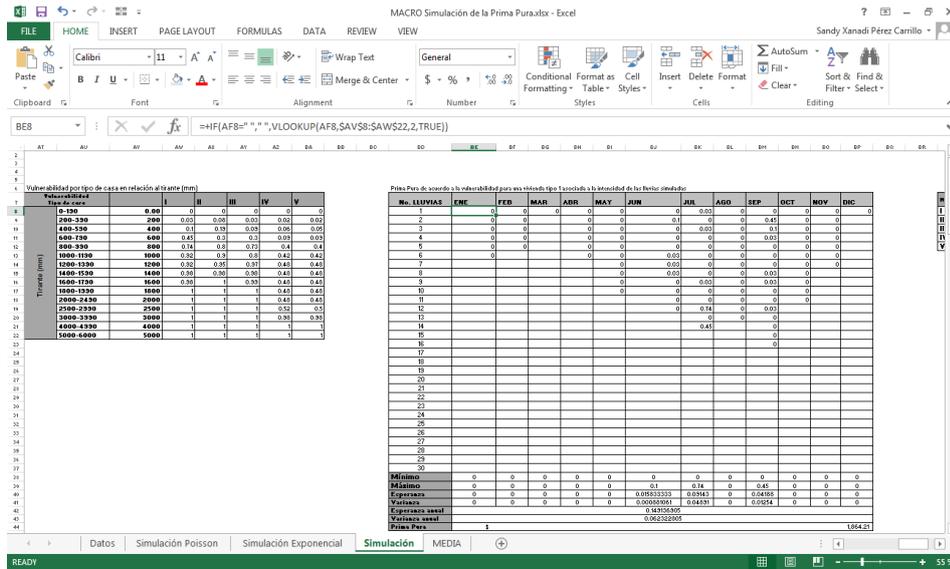




Una vez obtenida la simulación de número de lluvias y la intensidad que pueden obtener, es necesario realizar una combinación entre ambas.



Posterior se considera la vulnerabilidad por tipo de vivienda para poder obtener la prima pura.

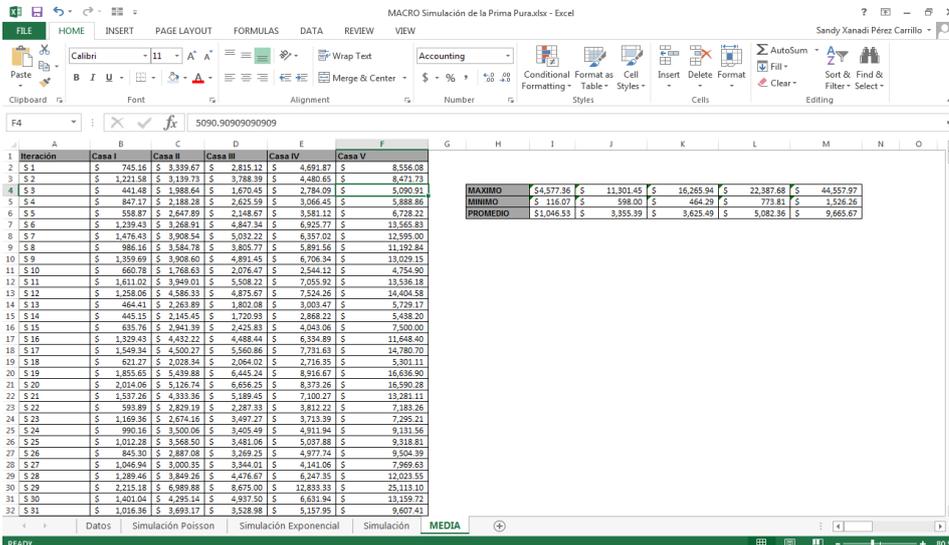


Debido a que este proceso solo nos da una sólo simulación, es necesario ejecutar el proceso más veces para verificar las posibles desviaciones. Para poder hacer el proceso se ha generado una macro que permita ejecutar el proceso de acuerdo al número deseado.

```
Sub simulacion()
Dim numero As Double
numero = InputBox("Introduzca el valor de iteraciones", "Entrada de datos")
```

```
For numero = 2 To (numero + 1) Step 1
Range("BS8:BS12").Select
Selection.Copy
Range("B" & numero).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=True
```

```
Next
End Sub
```



Para justificar que el número de simulaciones realizadas ha sido el adecuado se hará uso de la fórmula<sup>23</sup>:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Donde:

- N: Total de la población, 200,000.
- $Z_{\alpha}$  = 2.576 al cuadrado (con una seguridad del 99%).
- p = proporción esperada. Se usará 0.5 para maximizar el tamaño de la muestra.
- q = 1 – p
- d = error esperado, que para este caso se usará igual al 1%

al realizar la aplicación de los valores correspondientes en la fórmula se obtiene:

$$n = \frac{200,000 * 2.576^2 * 0.5 * 0.5}{0.01^2 * (200,000 - 1) + 2.576^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = \frac{331,788.8}{21.66} = 15,319$$

Número que es menor a las simulaciones realizadas (200,000), por lo que el número de ejecuciones que se ha realizado en la ejemplificación puede considerarse como adecuado.

<sup>23</sup> Herrera Castellanos Mario, *Fórmula para cálculo de la muestra poblaciones finitas*, (en línea), (fecha de consulta 20-09-2015). Disponible en: <https://investigacionpediahr.files.wordpress.com/2011/01/formula-para-cc3a1lculo-de-la-muestra-poblaciones-finitas-var-categorica.pdf>

Además del cálculo del número de ejecuciones se realizará una prueba de hipótesis para certificar que la media calculada para la variable S haya sido el adecuado.

Para la ejecución del ejercicio se consideran las siguientes hipótesis:

- $H_0$ : La media es igual a la calculada en el ejercicio de simulación de S

	Casa I	Casa II	Casa III	Casa IV	Casa V
<b>Media</b>	\$1,035.63	\$3,350.84	\$3,611.09	\$5,073.13	\$9,646.90
<b>desviación</b>	\$502.33	\$1,060.04	\$1,678.14	\$2,119.76	\$4,145.64

- $H_1$ : La media es mayor a la calculada.

Dado que se conoce la media y la desviación de la variable S se toma una muestra aleatoria de 50 ejecuciones para realizar el ejercicio:

Iteración	Casa I	Casa II	Casa III	Casa IV	Casa V
3	\$ 441.48	\$ 1,988.64	\$ 1,670.45	\$ 2,784.09	\$ 5,090.91
5	\$ 558.87	\$ 2,647.89	\$ 2,148.67	\$ 3,581.12	\$ 6,728.22
6	\$ 1,239.43	\$ 3,268.91	\$ 4,847.34	\$ 6,925.77	\$ 13,565.83
8	\$ 986.16	\$ 3,584.78	\$ 3,805.77	\$ 5,891.56	\$ 11,192.84
9	\$ 1,359.69	\$ 3,908.60	\$ 4,891.45	\$ 6,706.34	\$ 13,029.15
15	\$ 635.76	\$ 2,941.39	\$ 2,425.83	\$ 4,043.06	\$ 7,500.00
16	\$ 1,329.43	\$ 4,432.22	\$ 4,488.44	\$ 6,334.89	\$ 11,648.40
18	\$ 621.27	\$ 2,028.34	\$ 2,064.02	\$ 2,716.35	\$ 5,301.11
19	\$ 1,855.65	\$ 5,439.88	\$ 6,445.24	\$ 8,916.67	\$ 16,636.90
21	\$ 1,537.26	\$ 4,333.36	\$ 5,189.45	\$ 7,100.27	\$ 13,281.11
22	\$ 593.89	\$ 2,829.19	\$ 2,287.33	\$ 3,812.22	\$ 7,183.26
23	\$ 1,169.36	\$ 2,674.16	\$ 3,497.27	\$ 3,713.39	\$ 7,295.21
27	\$ 1,046.94	\$ 3,000.35	\$ 3,344.01	\$ 4,141.06	\$ 7,969.63
32	\$ 2,183.52	\$ 4,652.75	\$ 6,740.48	\$ 7,472.07	\$ 14,825.09
31	\$ 1,016.36	\$ 3,693.17	\$ 3,528.98	\$ 5,157.95	\$ 9,607.41
33	\$ 401.17	\$ 1,884.01	\$ 1,538.01	\$ 2,563.35	\$ 4,793.36
37	\$ 1,304.41	\$ 4,192.95	\$ 4,739.59	\$ 7,065.99	\$ 13,506.41
42	\$ 510.83	\$ 2,444.90	\$ 1,970.39	\$ 3,283.99	\$ 6,203.40
43	\$ 376.97	\$ 1,762.21	\$ 1,443.12	\$ 2,405.20	\$ 4,486.50
44	\$ 1,001.90	\$ 3,501.60	\$ 3,431.20	\$ 4,909.84	\$ 9,143.62
45	\$ 662.50	\$ 3,197.92	\$ 2,562.50	\$ 4,270.83	\$ 8,104.17
47	\$ 1,523.28	\$ 3,758.84	\$ 5,224.43	\$ 6,901.83	\$ 13,664.77
48	\$ 707.14	\$ 1,794.64	\$ 2,196.43	\$ 2,678.57	\$ 4,875.00
46	\$ 542.07	\$ 2,420.18	\$ 2,045.45	\$ 3,409.09	\$ 6,204.00
49	\$ 678.40	\$ 3,085.50	\$ 2,574.66	\$ 4,291.10	\$ 7,887.44
50	\$ 525.18	\$ 2,332.46	\$ 1,978.51	\$ 3,297.51	\$ 5,983.92
53	\$ 377.29	\$ 1,852.49	\$ 1,467.49	\$ 2,445.82	\$ 4,683.30
56	\$ 1,166.43	\$ 3,457.69	\$ 3,763.16	\$ 4,739.42	\$ 9,145.51
57	\$ 677.08	\$ 2,358.33	\$ 2,300.00	\$ 3,145.83	\$ 6,125.00
59	\$ 312.03	\$ 1,410.04	\$ 1,181.82	\$ 1,969.70	\$ 3,607.95
58	\$ 462.59	\$ 2,101.61	\$ 1,755.01	\$ 2,925.02	\$ 5,373.22
62	\$ 946.39	\$ 2,797.42	\$ 3,035.56	\$ 3,684.27	\$ 7,368.54
63	\$ 1,165.14	\$ 3,847.12	\$ 4,490.10	\$ 6,806.41	\$ 12,916.80
64	\$ 496.73	\$ 2,196.69	\$ 1,868.87	\$ 3,114.79	\$ 5,639.30
67	\$ 551.95	\$ 2,569.04	\$ 2,110.05	\$ 3,516.75	\$ 6,544.77
68	\$ 719.55	\$ 2,106.84	\$ 2,301.28	\$ 2,777.78	\$ 5,555.56
69	\$ 449.91	\$ 2,112.03	\$ 1,724.65	\$ 2,874.42	\$ 5,373.83
71	\$ 896.71	\$ 2,803.29	\$ 2,961.84	\$ 4,019.74	\$ 7,414.47
70	\$ 338.76	\$ 1,593.17	\$ 1,299.34	\$ 2,165.57	\$ 4,052.56
74	\$ 733.65	\$ 2,216.37	\$ 2,396.15	\$ 3,184.77	\$ 5,883.11
79	\$ 1,745.90	\$ 5,005.07	\$ 6,301.67	\$ 8,752.79	\$ 16,788.18
85	\$ 873.44	\$ 2,507.67	\$ 2,807.30	\$ 3,621.13	\$ 6,694.57
88	\$ 612.31	\$ 2,839.74	\$ 2,338.14	\$ 3,896.90	\$ 7,238.25
89	\$ 1,602.54	\$ 5,598.91	\$ 5,505.25	\$ 8,029.59	\$ 14,659.66
92	\$ 1,609.72	\$ 5,261.99	\$ 5,895.20	\$ 8,598.48	\$ 16,321.97
95	\$ 804.98	\$ 3,424.49	\$ 2,993.29	\$ 4,988.82	\$ 8,844.52
98	\$ 472.33	\$ 2,214.71	\$ 1,809.93	\$ 3,016.54	\$ 5,636.03
97	\$ 1,546.93	\$ 5,337.30	\$ 6,023.82	\$ 9,136.92	\$ 17,662.69
99	\$ 769.35	\$ 3,368.45	\$ 2,885.71	\$ 4,809.52	\$ 8,660.71
100	\$ 597.45	\$ 2,574.11	\$ 2,230.06	\$ 3,716.77	\$ 6,634.92
<b>Desv</b>	<b>\$ 455.96</b>	<b>\$ 1,084.90</b>	<b>\$ 1,537.33</b>	<b>\$ 2,008.27</b>	<b>\$ 3,874.73</b>
<b>Media</b>	<b>\$ 894.76</b>	<b>\$ 3,067.07</b>	<b>\$ 3,170.49</b>	<b>\$ 4,606.24</b>	<b>\$ 8,690.66</b>

Por el tamaño de la muestra se considera una  $T(x,49)$  con diferentes valores para  $x$ :

T (X,49)	X	
0.1	1.67655089	-1.67655089
0.05	2.00957524	-2.00957524
0.001	3.50044289	-3.50044289

Por lo que los valores obtenidos son:

	Casa I	Casa II	Casa III	Casa IV	Casa V
Media	\$1,035.63	\$3,350.84	\$3,611.09	\$5,073.13	\$9,646.90
desviación	\$502.33	\$1,060.04	\$1,678.14	\$2,119.76	\$4,145.64
Ho (media es =)	\$1,035.63	\$3,350.84	\$3,611.09	\$5,073.13	\$9,646.90
H1 (la media >)	\$1,035.63	\$3,350.84	\$3,611.09	\$5,073.13	\$9,646.90
N	200,000				
n	50				
X media (50)	\$ 894.76	\$ 3,067.07	\$ 3,170.49	\$ 4,606.24	\$ 8,690.66
Desviación (50)	\$ 455.96	\$ 1,084.90	\$ 1,537.33	\$ 2,008.27	\$ 3,874.73

Z prueba	- 2.1846	- 1.8495	- 2.0266	- 1.6439	- 1.7451
0.1	Se rechaza Ho	Se rechaza Ho	Se rechaza Ho	Se aprueba Ho	Se rechaza Ho
0.05	Se rechaza Ho	Se aprueba Ho	Se rechaza Ho	Se aprueba Ho	Se aprueba Ho
0.001	Se aprueba Ho				

Se realiza un nuevo ejercicio con una muestra de 500 simulaciones aleatorias obteniendo el siguiente resultado:

T (X,499)	X	
0.1	1.64791298	-1.64791298
0.05	1.96472939	-1.96472939
0.001	3.31013057	-3.31013057

	Casa I	Casa II	Casa III	Casa IV	Casa V
Media	\$1,035.63	\$3,350.84	\$3,611.09	\$5,073.13	\$9,646.90
desviación	\$502.33	\$1,060.04	\$1,678.14	\$2,119.76	\$4,145.64
Ho (media es =)	\$1,035.63	\$3,350.84	\$3,611.09	\$5,073.13	\$9,646.90
H1 (la media >)	\$1,035.63	\$3,350.84	\$3,611.09	\$5,073.13	\$9,646.90
N	200,000				
n	500				
X media (500)	\$ 1,011.21	\$ 3,308.81	\$ 3,533.67	\$ 4,993.34	\$ 9,473.72
Desviación (500)	\$ 445.14	\$ 1,033.74	\$ 1,504.82	\$ 1,965.30	\$ 3,838.21

Z prueba	- 1.2267	- 0.9092	- 1.1505	- 0.9079	- 1.0089
0.1	Se aprueba Ho				
0.05	Se aprueba Ho				
0.001	Se aprueba Ho				

Por lo tanto, para una muestra de 500 simulaciones la hipótesis de que la media será igual a la calculada se acepta.

## 7. Bibliografía

- Comisión Nacional de Seguros y Fianzas (en línea): *Ley general de instituciones y sociedades mutualistas de seguros (LGISMS)*, 1935, México, CNSF.
- De la Cruz Bartolón, Jesús; *Tesis de Maestría, UNAM, Facultad de Ingeniería, Formulación del riesgo conjunto, inundación-sequía, bajo un esquema probabilístico, aplicado a la Región Hidrológica Nazas-Aguanaval (RH-36)*, México, UNAM.
- Vargas Aguilar, Juan Carlos, *Uso de la estimación de la distribución de probabilidad para muestras pequeñas y de la simulación en la inferencia de carteras de seguros, México*.
- Faria Caroline, Enchentes no Brasil, (en línea), disponible en: <http://www.infoescola.com/hidrografia/enchentes-no-brasil>
- México, Comisión Nacional del Agua, Servicio Meteorológico Nacional, *Precipitación a nivel nacional y por Entidad Federativa*, (en línea), disponible en: <http://smn.conagua.gob.mx/climatologia/TempsyPrecip/Mensuales/-2014Prec.pdf>
- México. Consejo Nacional de Población, *Índices de marginación, 2010*, (en línea), disponible en: <http://www.conapo.gob.mx/>
- Minzoni Consorti, Antonio, 2005, *Crónica de dos siglos del seguro en México*, México, Comisión Nacional de Seguros y Fianzas
- --, 2006, *Memoria de los quince años de la nueva comisión nacional de seguros y fianzas 1990-2005*, México, Comisión Nacional de Seguros y Fianzas
- --, *Siglo y medio de supervisión del seguro en México*, México, Comisión Nacional de Seguros y Fianzas
- OMM/UNESCO, *Glosario hidrológico internacional*, (en línea), disponible en: <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/index.php/riesgos-hidrometeorologicos/inundaciones>
- Rincón, Luis, *Introducción a la probabilidad*, 2014, México, UNAM.
- --, *Curso intermedio de probabilidad*, 2007, México, UNAM.
- --, *Introducción a la teoría del riesgo*, 2012, México, UNAM.
- --, *Introducción a los procesos estocásticos*, 2012, México, UNAM.

- Salas Salinas, Marco Antonio, Martín Jiménez Espinosa, *Serie Fascículo: Inundaciones*, 2004, México, CENAPRED.
- --, *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos*, México, CENAPRED.
- Thomas Jr., George B., Ross Lee Finney III, *Cálculo. Varias variables. Undécima edición*, 2005, USA, Pearson Education, Inc.
- --, *Cálculo. Una variable. Novena edición*, USA, Pearson Education, Inc.
- Wikipedia, Función de Bessel, (en línea), (fecha de consulta 07-07-2015). Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Funci%C3%B3n\\_de\\_Bessel](https://es.wikipedia.org/wiki/Funci%C3%B3n_de_Bessel)
- Herrera Castellanos Mario, *fórmula para cálculo de la muestra poblaciones finitas*, (en línea), (fecha de consulta 20-09-2015). Disponible en: <https://investigacionpediahr.files.wordpress.com/2011/01/formula-para-cc3a1lculo-de-la-muestra-poblaciones-finitas-var-categorica.pdf>