

# **Maestría en Ciencias Actuariales**

**Análisis descriptivo y estadístico del modelo de funciones de distribución para facilitar el proceso de evaluación en un Contrato de Reaseguro no proporcional en una cartera catastrófica de una compañía aseguradora en Colombia.**

**Camila Alejandra Rojas Flórez & María Camila Sánchez Sánchez.**

**Bogotá, D.C., 05 de Diciembre de 2023**

**Análisis descriptivo y estadístico del modelo de funciones de distribución para facilitar el proceso de evaluación en un Contrato de Reaseguro no proporcional en una cartera catastrófica de una compañía aseguradora en Colombia.**

**Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ciencias Actuariales**

**Camila Alejandra Rojas Flórez & María Camila Sánchez Sánchez**

**Director: Eduardo Esteva Fischer**

**Codirector: Jorge Andrés Parra Mahecha**

**Bogotá, D.C., 05 de diciembre de 2023**

El trabajo de grado de maestría titulado “**Análisis descriptivo y estadístico del modelo de funciones de distribución para facilitar el proceso de evaluación en un Contrato de Reaseguro no proporcional en una cartera catastrófica de una compañía aseguradora en Colombia.**”, presentada por **Camila Alejandra Rojas Flórez** y **María Camila Sánchez Sánchez**, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ciencias Actuariales.

Director de la tesis: \_\_\_\_\_

**Eduardo Esteva Fischer**

Codirector de la tesis: \_\_\_\_\_

**Jorge Andrés Parra Mahecha**

Jurado 1: \_\_\_\_\_

**Ignacio Rojas**

**Bogotá, D.C., 16 de diciembre de 2023**

## **Agradecimientos**

Finalizar la maestría en Ciencias Actuariales es un gran logro que nos llena de orgullo y satisfacción. Este es el resultado de muchos años de esfuerzo y dedicación tanto personal como profesional.

En primer lugar, queremos agradecer a nuestros padres y pareja quienes han estado ahí brindando su apoyo, amor y comprensión. Igualmente, extendemos nuestro agradecimiento a nuestro director, codirector y a Eduardo Bello, cuya orientación y respaldo han sido fundamentales. Han compartido generosamente su conocimiento y experiencia, tanto en la elaboración de nuestro trabajo de grado como en el ámbito laboral, contribuyendo de manera invaluable a nuestro crecimiento profesional.

De igual manera agradecer a nuestros profesores de la maestría y a la universidad por todo el conocimiento y enseñanza en nuestra formación académica.

## Resumen

Los contratos de reaseguro son relevantes en el ámbito asegurador, ya que permiten a la compañía aseguradora mitigar riesgos de liquidez, financieros, de mercado, entre otros. Específicamente, los reaseguros no proporcionales son claves para gestionar riesgos catastróficos. Sin embargo, en Colombia aún no se ha establecido proceso estandarizado para este tipo de contratos. El propósito de este trabajo es desarrollar criterios que establezcan condiciones para la toma de decisiones relacionadas con los contratos de reaseguro no proporcionales, lo que permitirá a la compañía determinar su cesión y generar mayores ingresos. Para ello, se propone realizar un análisis de una cartera catastrófica utilizando datos a nivel mundial y emplear modelos de funciones de distribución que permitirán obtener un análisis tanto descriptivo como estadístico, que permita la determinación de estos criterios.

Palabras clave: reaseguro no proporcional, catastrófico, toma de decisiones funciones de distribución, riesgos, reaseguro, Simulación Montecarlo.

## Abstract

Reinsurance contracts are relevant in the insurance field as they allow the insurance company to mitigate liquidity, financial, market, and other future risks. Specifically, non-proportional reinsurance is key to managing catastrophic risks. However, in Colombia, a standardized process for these types of contracts has not yet been established. The purpose of this work is to develop rules that establish optimal conditions for decision-making related to non-proportional reinsurance contracts. This will allow the company to determine their cession and generate greater/higher income. To achieve this, it is proposed to analyze a catastrophic portfolio using global data and use distribution function models that will provide both descriptive and statistical analysis, which will allow for the determination of these rules.

Keywords: non-proportional reinsurance, catastrophic, decision-making, distribution functions, risks, reinsurance, Montecarlo simulation.

## Índice general

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
2. OBJETIVOS .....	13
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	13
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	13
3. MARCO TEÓRICO .....	14
3.1. REASEGURO.....	15
3.2. REASEGURO NO PROPORCIONAL.....	18
3.3. REASEGURO NO PROPORCIONAL POR EXCESO DE PÉRDIDA CATASTRÓFICA (XL).....	20
3.4. PROGRAMA DE REASEGURO .....	23
3.5. REASEGURO EN COLOMBIA .....	24
3.6. TEORÍA DEL VALOR EXTREMO.....	27
3.7. CRITERIOS DE INFORMACIÓN AKAIKE Y BAYESIANO.....	29
3.8. MEDIDAS ESTADÍSTICAS.....	30
3.9. SIMULACIÓN DE MONTECARLO .....	31
3.10. LIBRERÍAS Y FUNCIONES DE RSTUDIO .....	32
4. METODOLOGÍA.....	33
4.1. RECOLECTAR, ORGANIZAR Y TRATAR LOS DATOS DE UNA CARTERA CATASTRÓFICA QUE SERÁN EMPLEADOS EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO 33	
4.2. GENERAR UN ANÁLISIS DESCRIPTIVO Y ESTADÍSTICO PARA SOPORTAR LA TOMA DE DECISIONES SOBRE UN CONTRATO DE REASEGURO NO PROPORCIONAL, TENIENDO EN CUENTA LAS CARACTERÍSTICAS DE LA COMPAÑÍA, EL APETITO AL RIESGO Y LOS RIESGOS A SUSCRIBIR EN EL CONTRATO.....	34
4.3. REALIZAR UN ANÁLISIS SOBRE CUANDO CONVIENE O NO UN CONTRATO DE REASEGURO NO PROPORCIONAL. ESTABLECIENDO LOS CRITERIOS DE	

DECISIÓN SOBRE UN CONTRATO DE REASEGURO PARA UNA TOMA DE DECISIÓN MÁS ACERTADA Y, POR LO TANTO, QUE INVOLUCRE MENOS RIESGOS PARA LA COMPAÑÍA .....	35
5. RESULTADOS .....	36
5.1. DISTRIBUCIÓN DE LA FRECUENCIA.....	43
5.2. DISTRIBUCIÓN DE LA SEVERIDAD .....	47
5.3. PÉRDIDAS AGREGADAS.....	50
5.4. CESIÓN.....	51
5.5. CRITERIOS DE DECISIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LOS CONTRATOS ..	53
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	54
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
8. ANEXOS.....	59
8.1. ANEXO 1. VARIABLES DE LA BASE DE DATOS DE EM- DAT .....	59
8.2. ANEXO 2. CÓDIGO DE DESARROLLO EN RSTUDIO.....	66

## Índice de tablas

<b>Tabla 1. Número de desastres por tipo .....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 2. Número de desastres por región .....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 3. Características de las variables de tipo carácter .....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 4. Características de las variables de tipo numérico .....</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 5. Resultados de las distribuciones para la frecuencia. ....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 6. Resultados de las distribuciones para la severidad. ....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 7. Estadística descriptiva de los montos totales de pérdidas .....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 8. Posibles límites de cesión .....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 9. VaR y CVaR por cada límite de cesión.....</b>	<b>52</b>



## Índice de figuras

<b>Ilustración 1. Clasificación del reaseguro según las “posiciones”</b> .....	17
<b>Ilustración 2. Clasificación del reaseguro según la modalidad</b> .....	18
<b>Ilustración 3. Cotización de una protección XL</b> .....	21
<b>Ilustración 4. Resumen de la metodología utilizada</b> .....	36
<b>Ilustración 5. Gráfico de dispersión de los daños asegurados ajustados</b> .....	38
<b>Ilustración 6. Daños asegurados ajustados por año</b> .....	39
<b>Ilustración 7. Daños asegurados ajustados promedio por año</b> .....	39
<b>Ilustración 8. Número de siniestros asegurados por año</b> .....	40
<b>Ilustración 9. Funciones empíricas de los datos</b> .....	43
<b>Ilustración 10. Gráfica de Cullen &amp; Frey para la frecuencia</b> .....	44
<b>Ilustración 11. Resultados de estadísticos para la severidad</b> .....	44
<b>Ilustración 12. Resultados del modelo EVT para la frecuencia</b> .....	45
<b>Ilustración 13. Distribución ajustada de frecuencia</b> .....	46
<b>Ilustración 14. Funciones empíricas para la severidad</b> .....	47
<b>Ilustración 15. Gráfica de Cullen &amp; Frey para la frecuencia</b> .....	47
<b>Ilustración 16. Resultados de estadísticos para la severidad</b> .....	48
<b>Ilustración 17. Resultados del modelo EVT para la severidad</b> .....	49
<b>Ilustración 18. Distribución de la severidad</b> .....	49
<b>Ilustración 19. Resultados del análisis de Monte Carlo</b> .....	50

## INTRODUCCIÓN

El reaseguro no proporcional es una forma de transferencia de riesgo donde el reasegurador asume parte del riesgo de una compañía de seguros, pero no en una proporción relacionada con la prima pagada. El reasegurador sólo paga por las pérdidas que exceden ciertos límites, prioridad, acordados en el contrato. A diferencia del reaseguro proporcional, en el que el reasegurador asume una parte fija del riesgo y recibe una parte fija de las primas (Aguilar, 2017). Los reaseguros son importantes en el campo asegurador, ya que son contratos entre una empresa cedente (compañía aseguradora) y una compañía reaseguradora donde se establecen las coberturas asumidas por la reaseguradora y permite a la aseguradora el poder ofrecer mayor capacidad de cobertura de riesgo.

El reaseguro no proporcional permite limitar la exposición a las pérdidas de las compañías aseguradoras como al tratarse de riesgos catastróficos, donde los siniestros pueden llegar a implicar impactos financieros muy elevados. Por ejemplo, en el 2022 se presentó el huracán Ian con pérdidas aseguradas de 65,000 millones de dólares aproximadamente, además se han registrado una tendencia creciente de la siniestralidad por terremotos, inundaciones y tormentas, un aumento de la inflación y tasas de interés que elevaron los costos de compensación, edificios, vehículos afectados contribuyendo a pérdidas económicas mundiales de 125,000 millones de dólares de daños cubiertos por seguros. (Servín, 2023)

Dado que las compañías de seguros requieren tener capital suficiente (solvencia) para cubrir sus riesgos y obligaciones, tienen dos posibilidades: aumentar su capital o aplicar el reaseguro y en el reaseguro no proporcional la cedente tiene mayor flexibilidad para suscribir riesgos y puede retener una proporción más elevada de las primas brutas suscritas, corre el riesgo de haber pagado la tasa de reaseguro sin recibir ninguna contraprestación de la reaseguradora debido a que no se dé ningún riesgo que sobrepase la prioridad dada (Aguilar, 2017).

¿Qué criterios podrían utilizarse para soportar la toma de decisiones sobre la suscripción de contratos de reaseguro no proporcional? Este proyecto busca, mediante la determinación de un modelo de funciones de distribución, generar un análisis estadístico

para determinar los criterios para la suscripción de un contrato de reaseguro no proporcional de una cartera catastrófica en una compañía aseguradora, y de esta forma, realizar un análisis sobre cuándo conviene o no este tipo de contrato.

El documento inicia con la presentación del problema y los objetivos de la investigación. Luego, se presenta una descripción general del reaseguro, incluyendo los diferentes tipos de reaseguro, en particular el reaseguro no proporcional y el reaseguro no proporcional por exceso de pérdida catastrófica. A continuación, se describe el programa de reaseguro específico que se utilizó en el estudio, así como el contexto del reaseguro en Colombia. Finalmente, se presentan la metodología, los resultados y las conclusiones del estudio.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el contrato de reaseguro no proporcional, la aseguradora en lugar de establecer el máximo de sumas aseguradas a pagar por su cuenta, fija de manera anticipada la cantidad máxima de monto de siniestros que pagaría y deja el sobrante para que lo pague el reasegurador dentro de los límites fijados en el contrato (Rodríguez, 2023). Este tipo de contrato es bastante usual como protección contra catástrofes que involucran acumulaciones de pérdidas en un solo evento o situación futura e incierta que cubre un seguro, cuya totalidad de siniestros individuales surgen de una misma catástrofe, este puede ser de origen natural como terremotos, erupciones, inundaciones, avalanchas, entre otros (Fundación Mapfre, 2010). Por lo que, al momento de suscribir este tipo de contrato, es de gran importancia tener en cuenta el perfil de riesgos de la compañía, la disponibilidad de capital, el tamaño de la cartera de seguros, entre otros factores; para así, lograr establecer de manera adecuada el umbral de pérdida que debe superarse para que la reaseguradora empiece a pagar.

“Establecer un umbral de pérdida muy alto puede llegar a ocasionar problemas financieros que conlleven a incumplimiento de las obligaciones de la aseguradora y poner en peligro su capacidad financiera” (Fundación Mapfre, 2010). De aquí, la importancia de establecer un análisis estadístico para soportar la toma de decisiones de reaseguro que, junto con los criterios de decisión para suscribir un contrato de este tipo, contribuirán a un entendimiento más completo de los niveles de exposición al riesgo, probabilidad de que ocurra un siniestro y, por lo tanto, escoger la estructura de reaseguro y el tipo de contrato que de mejor manera se acomode al perfil de riesgo de la compañía.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un modelo basado en funciones de distribución para encontrar criterios que permitan optimizar un contrato de reaseguro no proporcional para una cartera catastrófica en una compañía aseguradora en Colombia.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Sintetizar la información recopilada para formar una comprensión integral del reaseguro. Detallando sobre la teoría y la situación actual del reaseguro a nivel local e internacional.
- Recolectar, organizar y tratar los datos de una cartera catastrófica que serán empleados en el proyecto.
- Generar un análisis estadístico para soportar la toma de decisiones sobre un contrato de reaseguro no proporcional, teniendo en cuenta las características de la compañía, el apetito al riesgo y los riesgos a suscribir en el contrato.
- Realizar un análisis para determinar la conveniencia de la contratación de un contrato de reaseguro no proporcional, mediante la aplicación de métodos descriptivos y estadísticos. Estableciendo criterios de decisión que permitan una toma de decisiones más precisa que reduzca los riesgos catastróficos y de liquidez para la compañía.

### 3. MARCO TEÓRICO

“Una compañía aseguradora debe cumplir con sus obligaciones financieras a sus clientes sin importar los diferentes escenarios que se presenten” (Unespa, 2020), el reaseguro ha sido fundamental para cumplir con este deber y, por lo tanto, se debe elegir de la mejor manera el tipo de contrato y las especificaciones de éste. Dada la importancia de esta figura, existen diferentes autores que han investigado maneras de que las aseguradoras realicen una elección que se ajuste a sus necesidades y las características del negocio.

Las aseguradoras tienen diferentes razones por las cuales reaseguran parte de su cartera, como por ejemplo reducir su riesgo financiero en las pólizas emitidas al disponer de más capital o el tener capacidad para colocar más riesgo, de manera que deben evaluar la eficiencia de esos contratos y si estos son los adecuados para su negocio. Hay distintas formas de evaluar esta eficiencia, por ejemplo, es posible tomar una cartera y la prima cobrada anual para asegurar los riesgos y analizar el efecto en el grado de riesgo asociado a esa cartera variando los excesos de pérdida o los límites de reaseguros proporcionales para cada riesgo, para esto, se puede asumir que el número de reclamaciones que surgen del riesgo  $i$ -ésimo es un proceso de Poisson con una media de reclamaciones  $p_i$  cada año y que el tamaño de cada reclamación tiene una función de distribución  $F_t$ . Como es habitual, la magnitud de una reclamación es independiente del momento en que se produce y de todas las demás reclamaciones (M. Andreadakis, 1980).

Existen varios estudios, relacionados con la toma de decisiones óptimas para los contratos de reaseguro, por ejemplo, puede hacerse en función del rendimiento esperado y del apetito al riesgo en términos del capital expuesto. Esto es posible, por ejemplo, aplicaciones de fronteras eficientes de portafolios a las variables claves de las compañías aseguradoras, con el fin de obtener una decisión apropiada de contrato de reaseguro y, por lo tanto, garantizar que esta decisión, maximice las utilidades en función del riesgo asumido. (Álvarez, 2019).

### 3.1. REASEGURO

El reaseguro es la operación por medio de la cual una institución de seguro toma a su cargo, parcial o totalmente: a) un riesgo cubierto por otra o, b) el remanente de daños que exceda de la suma asegurada por el asegurador directo (Consorti, 2009). La naturaleza de la protección del reaseguro depende del propósito o propósitos subyacentes. Por lo que existen diferentes tipos de transferencia de riesgo dependiendo de las características del negocio.

Consorti en su libro Reaseguro de 2009, comenta que el reaseguro se origina en la necesidad que los mercados imponen a los aseguradores de aceptar riesgos cuyo valor supera el equilibrio técnico de sus carteras (equilibrar adecuadamente los ingresos generados por las primas de seguro con los costos asociados con el pago de reclamaciones y la administración de pólizas). El reaseguro es de gran importancia para las compañías aseguradoras, ya que hace parte del mecanismo de administración de riesgos, para un buen funcionamiento de este, se deben tener en cuenta los siguientes principios según Consorti:

- Debe existir un interés asegurable, es decir, una relación entre quien toma el seguro con aquello que asegura como la vida, un bien o patrimonio.
- El contrato de reaseguro es de máxima buena fe, es necesario el compromiso de ambas partes para que se cumpla de manera honesta.
- El contrato es indemnizatorio y la materia de este debe existir en el momento de estipularlo.
- Comunidad de suertes, es una posición usual en el reaseguro porque independientemente del acuerdo legal y la buena fe, el reasegurador sigue la suerte del asegurador en los riesgos suscritos.

Los aspectos más sobresalientes del reaseguro los perfiles técnicos, económicos y jurídicos para Consorti en su libro de 2009 sobre el Reaseguro son:

- Económicamente el reaseguro tiene el efecto de desplazar la incidencia financiera de los siniestros y limita la carga de la empresa aseguradora solamente a la parte de estos que ella puede soportar.
- El reaseguro tiende a mejorar las condiciones técnicas del asegurador nivelando cuantitativamente la medida de sus exposiciones y permite que alcance un equilibrio entre primas y siniestros por un lado o, por otro, contener el pago de excedentes de siniestros dentro de algunos límites también previstos por los contratos.
- La ayuda técnica se completa con otra muy importante: la de permitir a la empresa aseguradora la suscripción de riesgos de importancia, por lo que aumenta, indirectamente, las posibilidades industriales de la aseguradora.
- Desde el punto de vista jurídico el reaseguro no modifica la relación entre asegurado y aseguradora en el sentido de que el primero es totalmente ajeno a la operación del reaseguro siendo la segunda la única responsable frente al primero por las obligaciones asumidas por la aseguradora (este principio no se invalida si en algunas ocasiones el asegurado conoce quiénes son los reaseguradores).
- El reaseguro se considera como un seguro contra pérdidas patrimoniales del asegurador frente a eventuales desviaciones en la siniestralidad de las coberturas otorgadas lo que originaría un desequilibrio financiero de la aseguradora; se trata por lo tanto de un riesgo financiero.

Teniendo en cuenta estas características y principios del reaseguro, la existencia del reaseguro según Lozano, Caicedo & Silva (2005) puede resumirse en:

- Limitar las fluctuaciones anuales de siniestralidad/utilidad.
- Reducir la exposición en riesgos de alto valor, superiores a su capacidad técnica y financiera.
- Corregir situaciones donde los supuestos para el funcionamiento del seguro no operan: baja exposición o falta de independencia entre riesgos.
- Mecanismo de gestión del requerimiento de capital de la compañía.



De otra forma, la utilidad del reaseguro es importante para Consorti (2009):

- El asegurador, porque le proporciona la certeza sobre la viabilidad económica de su operación.
- El asegurador, porque le permite hacer frente a sus compromisos asumiendo responsabilidades cuantiosas sin sacrificar el sano equilibrio de sus reservas.
- El reasegurador, porque le ofrece la posibilidad de incrementar el volumen de su primaje sin necesidad de un complejo mecanismo y con gastos reducidos.
- La economía de un país, en virtud de que ofreciendo la cobertura de bienes que están dedicados al bienestar económico de la comunidad - mismos que no podrían existir si no se contara con el respaldo del seguro- ayudan al desarrollo del mismo país.

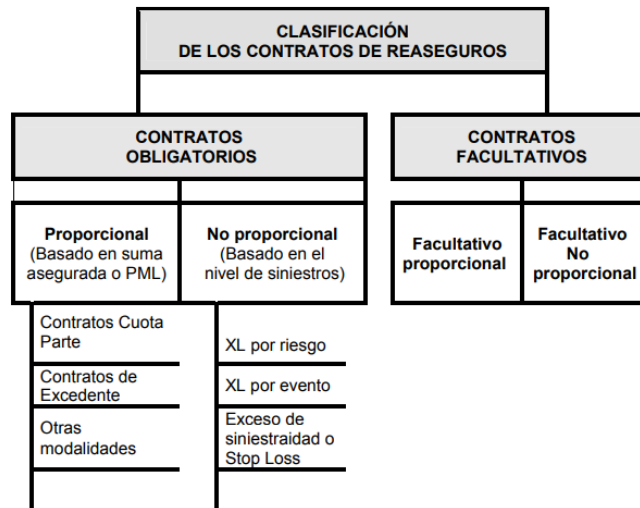
Conociendo los principios, objetivos, características y utilidad del reaseguro, se resalta su importancia. Debido las diferentes necesidades de la compañía, las diferencias de productos y demás particularidades que pueden existir. Según la fundación Mapfre en su documento Introducción al Reaseguro de 2010, el reaseguro puede clasificarse en diferentes tipos, que pueden verse diferente según la posición (reasegurador y asegurador) o por modalidad como puede verse en la Ilustración 1 e Ilustración 2 :

**Ilustración 1. Clasificación del reaseguro según las “posiciones”**

		Posición del reasegurador	
		Debe aceptar el riesgo	Libre de aceptar el riesgo
Posición del asegurador	Obligación a ceder el riesgo	Reaseguro Obligatorio (o automático)	Reaseguro Obligatorio Facultativo
	Libre de ceder o no el riesgo	Reaseguro Facultativo Obligatorio	Reaseguro Facultativo

**Fuente:** Tomado del documento Introducción al Reaseguro de fundación Mapfre.

## Ilustración 2. Clasificación del reaseguro según la modalidad



**Fuente:** Tomado del documento Introducción al Reaseguro de fundación Mapfre.

Para el caso de este trabajo, se revisarán más a fondo el reaseguro no proporcional y más específicamente el reaseguro no proporcional por exceso de pérdida para eventos catastróficos también llamados Cat excess of loss (XL Cat).

### 3.2. REASEGURO NO PROPORCIONAL

El reaseguro no proporcional se basa en reparto de responsabilidades entre la cedente y el reasegurador, se establece sobre siniestros y no con base en la suma asegurada como en el reaseguro proporcional, de tal manera que el reasegurador se compromete a indemnizar a la cedente cuando el importe del siniestro supere una cantidad fijada previamente (prioridad) y hasta un límite máximo (Límite de cobertura) (Fundación Mapfre, 2010).

“El atractivo particular de este método de reaseguro estriba en la protección que el mismo provee contra catástrofes que involucran acumulaciones de pérdidas en un solo evento.” (Consorti, 2009). Aunque no siempre debe ser una catástrofe, sino un evento que afecte a muchos asegurados, los contratos de reaseguro no proporcional tienen un papel esencial en la gestión de riesgos, pues

permite a las aseguradoras protegerse contra pérdidas excepcionales y mantener su estabilidad financiera.

Las características de los contratos de reaseguro no proporcionales según Mapfre en su documento Introducción al reaseguro de 2010, son:

- Las operaciones contables quedan reducidas a un mínimo al limitarse el pago de la prima y el recobro del siniestro cuando éste sobrepasa la prioridad.
- Se consigue como consecuencia de lo anterior una disminución de los gastos administrativos.
- El coste del reaseguro (la prima) es un factor determinado de antemano, lo que permite a la cedente establecer un presupuesto de gastos. Dicho coste puede variar considerablemente de un ejercicio a otro según la evolución de la siniestralidad y el mercado de reaseguro.

Los elementos que componen este tipo de contrato de reaseguro son:

1. “Prioridad: Primera cantidad que la protegida asume en caso de pérdidas derivadas de un siniestro o serie de siniestros en un evento” (Consultoría Actuarial, 2016).
2. “Cobertura o límite de responsabilidad: Protección comprada (es el monto de cualquier siniestro o serie de siniestros que excedan la prioridad, hasta un límite contratado)” (Consultoría Actuarial, 2016).
3. “Estructura: Generalmente la protección comprada se divide en capas, las cuales son afectadas una después de la otra, en la medida en que se requiera” (Consultoría Actuarial, 2016).

Según la necesidad, existen diferentes modalidades de reaseguro, como puede verse en la Ilustración 2. A continuación se tratará más a fondo el reaseguro no proporcional por exceso de pérdida catastrófico que es el que se tratará en el documento.

### **3.3. REASEGURO NO PROPORCIONAL POR EXCESO DE PÉRDIDA CATASTRÓFICA (XL)**

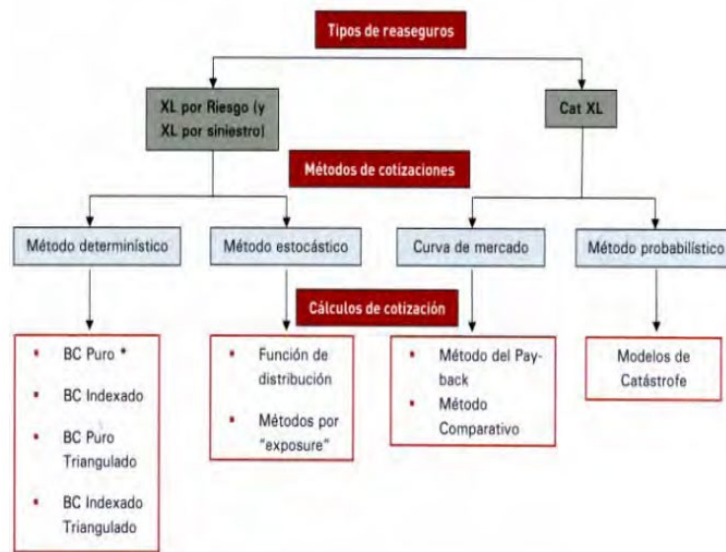
“Un evento catastrófico es un hecho de origen natural o provocado por el hombre en forma accidental o voluntaria, que afecta en forma grave, masiva e indiscriminada el funcionamiento normal de una sociedad” (Fasecolda, 2018). Este tipo de evento tiene un origen en sucesos poco probables, pero que, a la vez, son de gran magnitud por la cuantía de daños que ocasionan, por ejemplo, fenómenos de la naturaleza como terremotos, maremotos, inundaciones, huracanes, etc.

Los eventos catastróficos tienen un tipo de reaseguro especial ya que su frecuencia es muy baja pero su severidad muy alta, por lo que, la cobertura del reaseguro no proporcional por exceso de pérdida catastrófica se verá afectada cuando la suma de todas las pérdidas individuales se vea afectada por un mismo evento o causa y a su vez produzcan una pérdida superior al monto establecido como prioridad.

“Es importante considerar que mientras más cobertura de reaseguro se contrata, menos ingresos por concepto de primas de seguro se retendrá” (Caiche, 2017). Se deberán tener en cuenta diferentes factores que afectaran al programa de reaseguro, el cual, deberá encargarse de que la compañía no se vea afectada por una inadecuada transferencia del riesgo.

“Se emplean distintos métodos para calcular la prima según el tipo de reaseguro. En el caso de contratos de reaseguro no proporcional por exceso de pérdida catastrófica XL, se aplican el método del “Pay-back” y el método comparativo” (Fundación Mapfre, 2010). Estos son métodos de cotización de cobertura de reaseguro no proporcional para los eventos catastróficos y el esquema para el método adecuado, teniendo en cuenta el tipo de reaseguro, se puede observar en la Ilustración 3.

### Ilustración 3. Cotización de una protección XL



"BC" = "Burning Cost"

**Fuente:** Tomado del documento Introducción al Reaseguro de fundación Mapfre.

Se denomina "Pay Back" al periodo de tiempo hasta recuperar un pago por un siniestro total que haya afectado a un tramo en particular o a todo el contrato de exceso de pérdidas. El método "Pay-back" se fundamenta en la intensidad de los riesgos, en el caso de los terremotos donde se utiliza la escala "Mercalli Modificada". En esta escala, se asigna a cada punto un Siniestro Máximo Probable (PML) y un periodo de retorno (PR), que representa un intervalo medio de tiempo en el que se espera que ocurra dicho fenómeno. Para el cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

#### Ecuación 1. Cálculo de Prima Pura

$$Prima\ pura = Capital\ Asegurado * \left( \sum cargas\ XL * Probabilidad\ de\ ocurrencia \right)$$

**Fuente:** Tomado del documento Introducción al Reaseguro de fundación Mapfre.

Como el método se basa en sobreestimaciones para hacer una tarificación, para compensar la imprecisión de la información, se agrega un recargo de seguridad según la Ecuación 2.

## **Ecuación 2. Recargo de seguridad**

$$\text{Recargo de seguridad} = 10\% * (\text{Prima Pura} * \text{Limite})^{1/2}$$

**Fuente:** Tomado del documento Introducción al Reaseguro de fundación Mapfre.

De esta manera, la prima de riesgo se calcula mediante la siguiente ecuación:

## **Ecuación 3. Prima de riesgo método “Pay-back”**

$$\text{Prima de Riesgo} = \text{Prima pura} + \text{Recargo de seguridad}$$

**Fuente:** Tomado del documento Introducción al Reaseguro de fundación Mapfre.

En el método comparativo, los precios de las protecciones CAT XL se determinan mediante una comparación del Rate On Line o ROL, que se refiere a la relación entre la prima de reaseguro de un tramo comparada con el límite de la cobertura en porcentaje, y los tramos en respecto con la suma asegurada protegida. El ROL es el precio del tramo en función de su capacidad y se calcula con la siguiente ecuación:

## **Ecuación 4. Rate On Line (ROL)**

$$\text{ROL} = \frac{\text{Tasa} * \text{EPI}}{\text{Límite del tramo}} = \frac{\text{Prima de reaseguro del tramo}}{\text{Límite del tramo}}$$

**Fuente:** Tomado del documento Introducción al Reaseguro de fundación Mapfre.

El tramo en función de las acumulaciones agregadas cubiertas por la cedente se calculará tomando el punto medio del tramo, como se observa en la ecuación

## **Ecuación 5. Punto medio del tramo**

$$\text{Punto medio del tramo} = \frac{\text{Prioridad} + \left(\frac{\text{límite}}{2}\right)}{\text{Acumulaciones agregadas}}$$

**Fuente:** Tomado del documento Introducción al Reaseguro de fundación Mapfre.

### 3.4. PROGRAMA DE REASEGURO

El programa de reaseguro de una aseguradora es la estrategia integral en la que las entidades aseguradoras definen las políticas de contratación de reaseguro, donde se analiza la retención de la compañía y las coberturas a contratar. Este programa es de gran importancia por lo que debe ser aprobado por las directivas y consejos correspondientes en cada compañía y debe ser acorde a los requerimientos de la Circular Externa 029 de 2014 de la Superintendencia Financiera. (Fasecolda, 2014).

La importancia del programa de reaseguros puede verse desde diferentes enfoques.

1. Diversificación: Permite que las aseguradoras diversifiquen la exposición del riesgo a transferir por lo que, se reduce la concentración del riesgo y se mejora la estabilidad financiera.
2. Cumplimiento de la regulación del país de operación.
3. Gestión del riesgo: Permite el cumplimiento de las obligaciones futuras de la compañía, ya que, evita la exposición a pérdidas excesivas.
4. El reaseguro es capaz de proteger la solvencia de las aseguradoras, proporcionándoles mayor estabilidad y, por lo tanto, cumplimiento de las obligaciones con los asegurados.

Dada la importancia de los programas de reaseguro, estos deberán asegurar una adecuada gestión de los riesgos y garantizar solidez financiera a la aseguradora, por lo que, además darán protección a los asegurados.

Cada aseguradora tiene una forma de generación del programa de reaseguro, que cumplirá con sus propias necesidades y la regulación correspondiente, por lo que no se tiene un paso a paso determinado o una lista específica que debe contener este programa. A grandes rasgos, un programa de reaseguro puede contener:

1. Objetivos y metas del programa.

2. Líneas de negocio y riesgos que se van a ver cubiertas por reaseguro.
3. Una evaluación de riesgos a los que la aseguradora se enfrenta y, por lo tanto, cuantos de estos asumirá y cuales transferirá.
4. Identificación y selección de los reaseguradores que cumplan con sus necesidades y las de la regulación correspondiente.
5. Las formas en que se: negociaran, contrataran e implementaran los contratos de reaseguro.
6. Seguimiento a los contratos, revisión, renovación y ajuste del programa.

El reaseguro es tan importante para las compañías de seguros que se debe asegurar que se ajuste debidamente a las necesidades de la compañía, pero, que además cumpla con regulaciones del país de operación. En Colombia, existen varios apartados sobre el reaseguro, los cuales se mencionan a continuación.

### **3.5. REASEGURO EN COLOMBIA**

Las entidades aseguradoras se enfrentan a riesgos financieros significativos al presentarse eventos catastróficos y pérdidas inesperadas, por ello, estas entidades buscan transferir a las reaseguradoras una porción de los riesgos asumidos en virtud de contratos de seguro, esta se presenta en base de una estrategia integral por medio de un determinado programa de reaseguro, el cual debe incluir el ramo de seguro que aplica el programa, la cobertura que reasegura, la cantidad de riesgo a asegurar, la tarifa que se paga a la reaseguradora, periodo de vigencia y todas las condiciones del pago del siniestro y el contrato de reaseguro. (Fasecolda, 1991, 1993).

La Superintendencia Financiera de Colombia (SFC) es la entidad encargada de regular y supervisar la actividad de reaseguros en Colombia según el marco regulatorio de la Ley 1328 de 2009, decreto 2555 de 2010 y la Circular externa 02 de 2011, las cuales establecen los requisitos para que una empresa pueda operar como reasegurador en Colombia como las normas de solvencia y liquidez



de la misma, las normas para la cesión de riesgos con el fin de reducir la exposición a estos riesgos y las normas para la contratación de los reaseguros.

Algunos de los requisitos y condiciones que establece la SFC para la contratación de reaseguros es que la entidad aseguradora debe contar con un programa de reaseguro aprobado por la SFC y que fije los criterios y procedimientos para la selección de sus contrapartes (teniendo en cuenta la capacidad para asumir las obligaciones derivadas de los contratos), además, la entidad aseguradora debe mantener registro de los contratos de reaseguro suscritos. Este programa de reaseguro se determina junto con sus condiciones en la Circular Externa 029 de 2014.

Las compañías reaseguradoras deben contar con una autorización específica de la SFC para operar en el país y toda información financiera y operativa debe ser proporcionada a la SFC regularmente, lo que garantiza que estas empresas sean financieramente sólidas y reguladas para participar en el mercado colombiano, cumpliendo con los requerimientos de capital y las reservas adecuadas para cumplir con obligaciones futuras. Adicionalmente, “las reaseguradoras deben tener calificación de fortaleza financiera dependiendo su rendimiento de inversiones, nivel y acceso a capital, fuentes y nivel de liquidez y participación total de inversiones, evolución del patrimonio, relaciones de solvencia, nivel de reservas técnicas y composición “ (Fasecolda, 2014).

Se presentan límites del nivel de riesgo que puede retener una aseguradora sin necesidad de reasegurar así no asumir riesgos excesivos, el decreto 2555 de 2010 establece que “las entidades aseguradoras y reaseguradoras no podrán asumir en un solo riesgo una retención neta que exceda del 10% de su patrimonio técnico correspondiente al trimestre inmediatamente anterior a aquél en el cual se efectúe la operación. Se entiende por riesgo la sumatoria de todos los valores asegurados y reasegurados de las coberturas de los intereses amparados por una determinada compañía expuestos a un mismo evento. Se considerará como patrimonio técnico el calculado para el cumplimiento de las normas de solvencia vigentes” (Fasecolda, 1991, 1993).

Por otro lado, Fasecolda recomienda que el programa de reaseguro debe incluir elementos como el análisis de riesgo, estrategias de reaseguro, proceso de selección de reaseguradoras (evaluar su capacidad, fortaleza financiera, experiencia y reputación de las compañías reaseguradoras) y condiciones del contrato de reaseguro. Este programa tiene como objetivo desarrollar y fortalecer la capacidad de las compañías de seguros para gestionar riesgos y proteger a los asegurados. Las aseguradoras también pueden considerar relevante analizar el tamaño, apetito de riesgo, comportamiento de las primas brutas y netas, siniestralidad, tiempos de pago, gastos, entre otros aspectos para su elección de la reaseguradora que mejor se ajuste a sus necesidades de negocio.

Al realizar un análisis de riesgo se identifican los posibles riesgos que la entidad aseguradora desea reasegurar considerando la naturaleza del riesgo (tipo de riesgo), la frecuencia o probabilidad de ocurrencia y la severidad (costo potencial) de un siniestro.

Se define una estrategia de reaseguro que determine ¿cómo se distribuirá el riesgo entre la cedente y la reaseguradora, teniendo en cuenta el apetito de riesgo de la compañía, costo del reaseguro y la disponibilidad o capacidad de la reaseguradora para asumir los riesgos.

El programa de reaseguro debe ser elaborado por las entidades aseguradoras para definir detalladamente la transferencia de los riesgos asumidos a las reaseguradoras, así se permite administrar los riesgos de manera eficiente, mejorar la capacidad de pago a sus clientes, reducir el costo del capital, aumentar la solvencia de las aseguradoras liberando capital que estaría reservado para cubrir pérdidas potenciales, adicionalmente permite a las aseguradoras ser más eficientes y financieramente sólidas (Fasecolda, 2014).

En la Circular Externa 029 de 2014, la Superintendencia Financiera de Colombia establece que las entidades aseguradoras deben remitirle en los respectivos formatos la siguiente información relacionada con su actividad de reaseguro:

Al último día de cada mes:

Prima aceptadas en reaseguro (F3000-82), primas cedidas en reaseguro (F3000-83), reaseguradores y aseguradoras cedentes del exterior no listados (F3000-84) y los estados financieros.

De manera trimestral:

La estructura de los contratos automáticos proporcionales y no proporcionales (F3000-79 y F3000-80), nómina de los reaseguradores (F3000-81), junto con los saldos cuenta corriente y reserva para siniestros parte reaseguradores (F3000-86).

Todos los requisitos presentados en la normativa colombiana permiten a las entidades aseguradoras tener un plan y análisis más detallado para la determinar correctamente la reaseguradora que les permita cumplir con sus obligaciones y, en consecuencia, permitir una mejor aceptación de los futuros riesgos.

### **3.6. TEORÍA DEL VALOR EXTREMO**

“Para la modelación de los datos de riesgo de eventos catastróficos, extremos o atípicos se va a utilizar la teoría de valores extremos (EVT) que trata de las desviaciones respecto al valor esperado de una distribución de probabilidad” (Kalida, 2014). La teoría se basa en que los valores extremos de una distribución se pueden modelar como una distribución diferente a la original, caracterizada por tener una cola pesada y con alta probabilidad de producir valores extremos. Esta teoría es una herramienta muy importante para la gestión de riesgos ya que, permite modelar el riesgo de eventos extremos y ayuda en la toma de decisiones en la gestión de los riesgos.

Los eventos que son modelados por esta teoría son aquellos que tienen un alto impacto y se tiene poca información al respecto de ellos, suelen denominarse distribuciones de cola pesada, principalmente para eventos catastróficos con poca frecuencia, pero alta severidad.

En el estudio realizado en la Universidad de Chile, se aplica la teoría de valor extremo al índice NASDAQ, una bolsa de valores electrónica y automatizada con sede principal en Nueva York, compuesta por empresas de alta tecnología. Se desarrolla la teoría de valor extremo para calcular la medida de riesgo (VaR), que representa la cantidad de capital que la empresa debe asignar como seguro frente a contingencias desfavorables o para medir el grado de exposición al riesgo de una operación. Este enfoque resulta más realista al considerar la no normalidad en la distribución de los retornos de los activos y además calcular el Expected Shortfall (medida de riesgo para eventos extremos) en MATLAB para este índice. Los resultados revelan que el cálculo del VaR asumiendo normalidad en la distribución de los retornos subestima la pérdida potencial de un activo financiero con respecto al VaR obtenido bajo una distribución general de Pareto (Quiroga P., Contador A., & Claro E., 2006).

Isabel Serra (2013) describe el método Peaks Over Threshold o picos sobre un umbral (POT), el cual vincula la parte de una distribución que excede un límite establecido con un modelo de excesos, evitando valores negativos. Este método permite enlazar con mayor coherencia otras funciones de distribución, lo que hace que el modelo sea más realista y razonable, especialmente al calcular el VaR. Sin embargo, actualmente, las herramientas no son suficientes para su aplicación práctica, por lo que se busca enlazar modelos específicos para las colas de distribución, determinando su índice y el umbral óptimo. Esto conduce a la presentación de nuevos modelos más adecuados en situaciones con colas pesadas.

Los modelos principales en esta teoría incluyen el Modelo de Gumbel, el más sencillo, que se basa en la premisa de que la distribución de valores extremos sigue una distribución Gamma. Además, está el Modelo de Weibull, el cual asume que la distribución de valores extremos sigue una distribución Weibull. En esta teoría se emplean diversos modelos según la cantidad de información disponible en la base de datos y los resultados obtenidos. Esto permite ajustar de manera más precisa los modelos a la información y a los patrones identificados en su comportamiento.

### 3.7. CRITERIOS DE INFORMACIÓN AKAIKE Y BAYESIANO

En estadística, los índices AIC (criterio de información Akaike) y BIC (criterio de información Bayesiano) se utilizan para seleccionar el mejor modelo y el más apropiado para ajustar los datos. Ambos modelos se basan en encontrar un equilibrio entre la bondad de ajuste del modelo y su complejidad (López A. M., 2011).

La prueba de bondad y ajuste es una prueba de hipótesis para evaluar la calidad de un modelo estadístico comparando los datos observados con respecto a la distribución predicha por el modelo y su complejidad se mide respecto al número de parámetros del modelo.

El índice AIC es un estimador insesgado asintótico de la información entre un modelo candidato ajustado y el verdadero modelo, se basa en la estimación de máxima verosimilitud de los parámetros mediante la Ecuación 6.

#### Ecuación 6. Índice AIC

$$AIC = -2 * \ln(L) + 2 * k$$

**Fuente:** Tomado del documento Estudio del AIC y BIC en la selección de modelos de vida con datos censurados del centro de investigación en matemáticas (CIMAT).

Donde:

- $L$  es la función de verosimilitud del modelo
- $k$  es el número de parámetros del modelo

Mientras que el índice BIC es un aproximación a una transformación de la probabilidad posterior de un modelo candidato, se define como la Ecuación 7.

#### Ecuación 7. Índice BIC

$$BIC = -2 * \ln(L) + k \ln(n)$$

**Fuente:** Tomado del documento Estudio del AIC y BIC en la selección de modelos de vida con datos censurados del centro de investigación en matemáticas (CIMAT).

Donde:

- $L$  es la función de verosimilitud del modelo
- $k$  es el número de parámetros del modelo
- $n$  es el número de observaciones

“Al ajustar los modelos, se puede aumentar la verosimilitud al incluir parámetros al modelo, sin embargo, si no se utiliza un criterio de selección de modelo como el AIC o BIC, es posible generar un sobreajuste en el modelo y puede resultar en un modelo que no sea capaz de generalizar bien nuevos datos” (Medel, 2015). Para la selección del modelo se seleccionan aquel modelo cuyos valores de AIC y BIC sean más bajos ya que indican un mejor ajuste.

La principal diferencia entre el índice AIC y BIC es que el índice BIC penaliza la complejidad del modelo más fuertemente que el índice AIC. Esto significa que el índice BIC favorece modelos más simples y con un conjunto de datos más pequeño que el AIC, esto debido a que penaliza la complejidad del modelo con un factor del logaritmo del número de observaciones.

### **3.8. MEDIDAS ESTADÍSTICAS**

Las medidas estadísticas permiten identificar las características de una distribución, entre las principales medidas se encuentra la curtosis (kurtosis) y el sesgo. La curtosis o apuntamiento es una medida en que las colas de una distribución difieren de la distribución normal. Un valor de curtosis de cero es la línea de base, es decir, que la distribución es normal. Si el valor es positivo indica que la distribución tiene colas más pesadas que la normal, es decir que es más probable que produzca valores extremos, siendo este valor mayor a 3 considerado una distribución de curtosis excesiva; mientras que un valor negativo indica que la distribución tiene colas más livianas que la normal. (Rico, 2020).

Skewness o sesgo es una medida estadística que describe la simetría de la distribución alrededor de la media aritmética. Si el sesgo es cero, la distribución es simétrica, si el sesgo es positivo la distribución tiene una cola asimétrica

extendida hacia valores positivos y un sesgo negativo indica una distribución con cola asimétrica extendida a valores negativos. (Flores, 2019)

Otra medida estadística para medir y gestionar los riesgos es el valor en riesgo (VaR) y su condicional (CVaR), esta medida estima la máxima pérdida que puede tener una cartera en un horizonte de tiempo y un nivel de confianza determinado, siendo utilizada principalmente cuando se presentan carteras con distribuciones normales siendo proporcional a la desviación estándar, y de no ser normal presenta problemas de subaditividad por existencia de colas largas o falta de continuidad de las distribuciones. Por este problema surge la herramienta CVaR que es una alternativa que mide la pérdida esperada promedio de una cartera con un horizonte de tiempo determinado tomando en cuenta casos en que las pérdidas son mayores que el VaR. (Jara Padilla & Melgar Chamorro, 2007).

### **3.9. SIMULACIÓN DE MONTECARLO**

Es un método estadístico que se utiliza para generar muestras aleatorias de una distribución de probabilidad. Las muestras se pueden utilizar para estimar media, varianza o probabilidad de un evento. Se basa en la idea de generar suficientes muestras aleatorias de una distribución de probabilidad, para aproximar a la distribución real. (López J. F., 2020)

Con la simulación se busca repetir características de un sistema real, para analizar o predecir su comportamiento a largo plazo. Esta simulación es flexible para una amplia variedad de distribuciones de probabilidad, busca estimar la variable de interés con alta precisión y dependiendo del tamaño de la muestra es necesario utilizar programas informáticos como Excel, Rstudio o Matlab, con los cuales se pueden generar suficientes muestras aleatorias, generalmente se utilizan 10.000 muestras para la simulación.

La simulación puede estimar la probabilidad que un evento ocurra, generando muestras aleatorias y aceptando la muestra en caso de que ocurra, así se determina la probabilidad de que la muestra sea aceptada para estimar la

probabilidad del evento. El proceso se puede ejecutar tantas veces el analista lo desee modificando los parámetros que utiliza en su modelo para así determinar los resultados más precisos para su predicción.

“Con este método mejora la toma de decisiones en situaciones de incertidumbre, para esto se determina la variable dependiente para analizar su sensibilidad frente a las variables independientes en un modelo predictivo.” (Salazar Jiménez & Alzate Castro).

### 3.10. LIBRERÍAS Y FUNCIONES DE RSTUDIO

RStudio es un lenguaje de programación con enfoque al análisis estadístico que permite el manejo y depuración de bases de datos con el uso de herramientas estadísticas y presentación de gráficos. En este software se pueden cargar librerías que permiten realizar de manera más efectiva dicho análisis, para el desarrollo del trabajo algunas de las librerías que se utilizaron fueron las siguientes:

- “*Tidyverse* paquete orientado a la manipulación, importación, exploración y visualización de datos. Se compone de los siguientes paquetes (*readr*, *dplyr*, *ggplot2*, *tibble*, *tidyr*, *purrr*, *stringr*, *forcats*) facilita el trabajo estadístico “ (Areneda, 2021).
- “*Lubridate* es un paquete que facilita trabajar con fechas y horas en R ya sea para su análisis o realizar operaciones aritméticas” (Cisneros, 2017)
- Los paquetes *Readx* y *Openxlsx* permite importar archivos de Excel a R.
- “*Fitdistrplus* es una librería que permite ajustar distribuciones univariadas, permite diferentes métodos de estimación y comparar diferentes ajustes entre sí.” (Fernández, 2017)
- El paquete *Data.table* permite trabajar con bases de datos de forma más eficiente importando, exportando datos, modificar las columnas condicionándolas, uniéndolas y filtrándolas a disposición del analista.

Adicionalmente, las principales funciones utilizadas se describen a continuación:



- *Skimr* genera una descripción general amplia de un conjunto de datos de manera estadística dependiendo de la clase de la variable.
- *Plotdist* con esta función se traza una distribución empírica de datos no censurados con una teórica si se especifica”
- “*Descdist* Calcula parámetros descriptivos de una distribución empírica para datos no censurados y proporciona gráfica de asimetría – curtosis, los cuales permiten decidir el tipo de distribución y para ajustar los datos a alguna distribución teórica se utiliza *Fitdist*” (Fernández, 2017)
- *Fevd* ajusta una distribución de valor extremo a los datos posiblemente con covariables en los parámetros”
- Las funciones *gev\_pdf* y *ggevd* permite trabajar con datos que se ajustan bajo el teorema de valores generalizados extremos.
- La función *cor* permite calcular el coeficiente de correlación para las variable cuantitativas y la función *corplot* se utiliza para visualizar gráficamente la correlación de esas variables.
- *ggplot* y *gridGraphics* permiten graficar y visualizar variables como puede ser en histogramas, boxplots, diagrama de puntos, entre otros.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. RECOLECTAR, ORGANIZAR Y TRATAR LOS DATOS DE UNA CARTERA CATASTRÓFICA QUE SERÁN EMPLEADOS EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO

Dentro del proceso de recolección, organización y procesamiento de datos para la cartera catastrófica, se realizaron dos procedimientos clave. En primera instancia, la comprensión del negocio, se aborda la necesidad de familiarizarse con la normativa del sector, concretamente en relación con el reaseguro. Esto implica una comprensión detallada de los modelos de reaseguro no proporcional, con más específicamente los contratos de tipo XL catastróficos.

Luego, el proceso se centró en la comprensión y preparación de los datos, se realizó un análisis exhaustivo de la información catastrófica. Esto incluye la imputación de datos faltantes y, junto a eso la detección y tratamiento de valores atípicos para garantizar la integridad y calidad de la base de datos. Estas acciones fueron fundamentales para garantizar la confiabilidad de la información, el respectivo proceso realizado en la base de datos se encuentra en la sección de resultados.

**Resultados de la actividad:**

- Recorrido teórico sobre el reaseguro y en especial el reaseguro no proporcional para la transferencia del riesgo catastrófico, tanto local como internacionalmente.
- Base de datos catastróficos tratados y organizados para el desarrollo del proyecto.

**4.2. GENERAR UN ANÁLISIS DESCRIPTIVO Y ESTADÍSTICO PARA SOPORTAR LA TOMA DE DECISIONES SOBRE UN CONTRATO DE REASEGURO NO PROPORCIONAL, TENIENDO EN CUENTA LAS CARACTERÍSTICAS DE LA COMPAÑÍA, EL APETITO AL RIESGO Y LOS RIESGOS A SUSCRIBIR EN EL CONTRATO**

En el proceso de evaluación y toma de decisiones respecto a un contrato de reaseguro no proporcional, se desarrolla un enfoque estructurado bajo distintas etapas. En primer lugar, se aborda el entendimiento de las características de la compañía, su apetito al riesgo y los riesgos a suscribir en el contrato. Esto implica la descripción de las características de la compañía, la determinación del apetito al riesgo y un análisis detallado de los riesgos a considerar en el contrato de reaseguro.

A continuación, se determinaron las funciones de distribución de los siniestros que mejor se adaptan la frecuencia y severidad de estos.

Luego, se generó un modelo respecto a la o las funciones de distribución, lo que implicó la construcción del modelo, teniendo en cuenta la retención para cada

contrato de reaseguro no proporcional, seguido de un análisis e implementación del modelo.

**Resultados de la actividad:**

- La determinación del apetito al riesgo y un análisis detallado de los riesgos a considerar en el contrato de reaseguro.
- Modelo estadístico y descriptivo a partir de las funciones de distribución de frecuencia y severidad, junto con el análisis de este.

**4.3. REALIZAR UN ANÁLISIS SOBRE CUANDO CONVIENE O NO UN CONTRATO DE REASEGURO NO PROPORCIONAL. ESTABLECIENDO LOS CRITERIOS DE DECISIÓN SOBRE UN CONTRATO DE REASEGURO PARA UNA TOMA DE DECISIÓN MÁS ACERTADA Y, POR LO TANTO, QUE INVOLUCRE MENOS RIESGOS PARA LA COMPAÑÍA**

En el proceso de evaluación de la conveniencia de un contrato de reaseguro no proporcional, se destaca la importancia de establecer criterios de decisión para una toma de decisiones más precisa y menos arriesgada para la compañía. Este análisis se centró en la identificación de criterios clave que guían la elección de suscribir o no un contrato de reaseguro no proporcional, considerando las características específicas de la compañía, su apetito al riesgo y los riesgos asociados al contrato en cuestión.

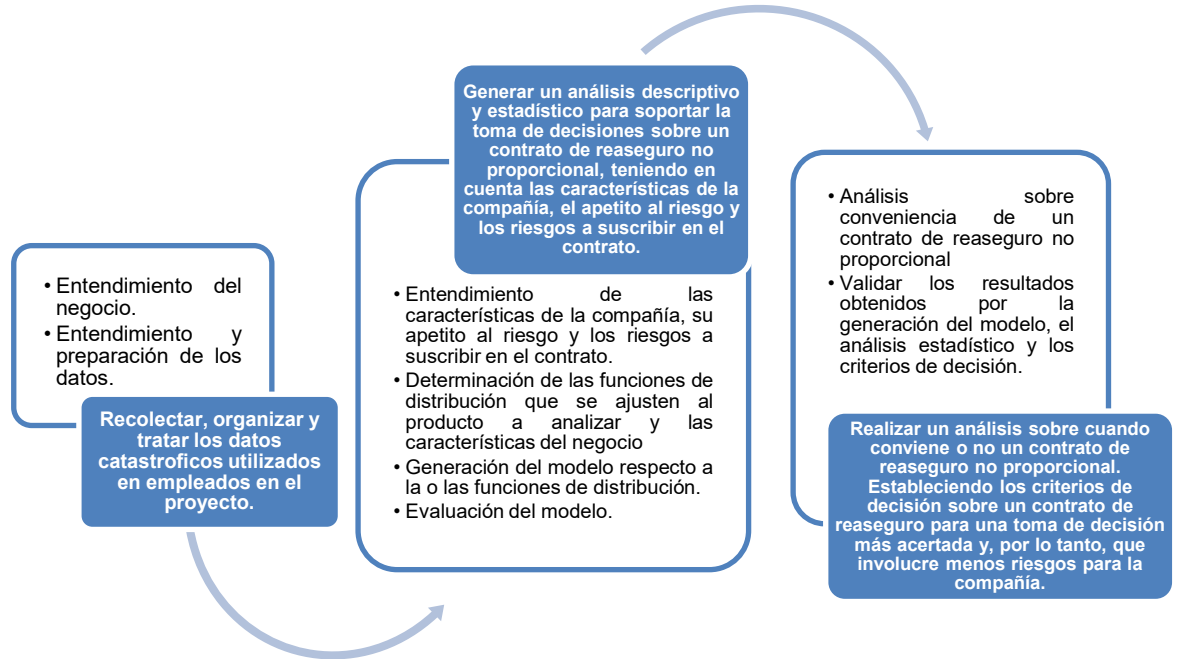
Posteriormente, se realiza una descripción de los resultados obtenidos. Este proceso de validación se centra en confirmar la coherencia y eficacia de las criterios de decisión establecidas, así como en comparar y contrastar estos resultados con los obtenidos mediante la generación del modelo y el análisis estadístico, consolidando así una evaluación integral de la conveniencia de los contratos de reaseguro no proporcionales.

**Resultados de la actividad:**

- Criterios para la toma de decisiones respecto a la suscripción de un contrato de reaseguro no proporcional.
- Conclusiones sobre el desarrollo del proyecto.

En la **Ilustración 4** se presenta un resumen de esta sección.

#### Ilustración 4. Resumen de la metodología utilizada



Fuente: Elaboración propia.

## 5. RESULTADOS

Al no tener datos de una cartera catastrófica, se utilizó una base de datos abiertos (EM-DAT) de acceso libre y contiene datos básicos sobre la ocurrencia y los efectos de 26,000 desastres en todo el mundo desde 1900 hasta 2023. Esta base de datos se compila a partir de diversas fuentes de información, incluidas agencias de las Naciones Unidas, organizaciones no gubernamentales, compañías de seguros, institutos de investigación y agencias de prensa, la descripción de las variables se encuentra en el ANEXO 1.

Se realizó una limpieza de los datos, verificando datos faltantes formato de las respectivas columnas y teniendo en cuenta aquellos desastres que contaban con suma asegurada, se organizaron los datos y se realizaron algunas gráficas, tablas y líneas de código para entender de mejor manera los datos. Los resultados de estas validaciones se presentan a continuación:

**Tabla 1. Número de desastres por tipo**

<b>Tipo de desastre</b>	<b>Número de desastres por tipo</b>
Sequía	8
Terremoto	100
Temperatura Extrema	16
Inundación	239
Accidente Industrial	1
Deslizamiento de tierra	6
Tormenta	702
Accidente de Transporte	4
Incendio Forestal	45
<b>Total</b>	<b>1,121</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de la base.

**Tabla 2. Número de desastres por región**

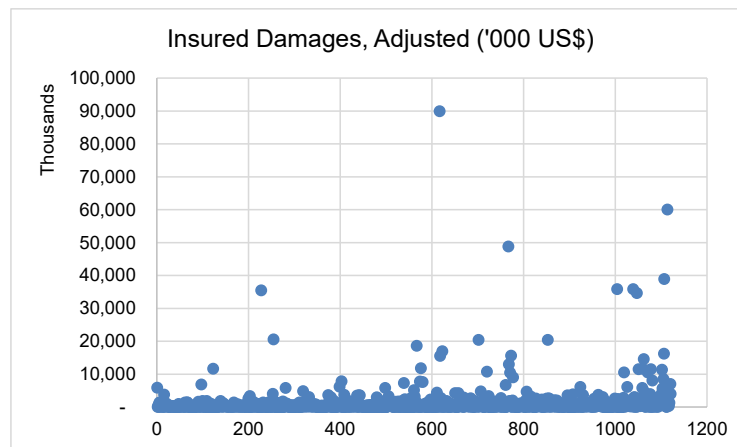
<b>Región</b>	<b>Desastres por región</b>
Australia and New Zalean	62
Caribbean	47
Central America	30
Eastern Africa	4
Eastern Asia	129
Eastern Europe	20
Melanesia	2

Región	Desastres por región
Micronesia	1
Northern America	492
Northern Europe	50
South America	25
South-Eastern Asia	28
Southern Africa	12
Southern Asia	33
Southern Europe	42
Western Asia	15
Western Europe	129
<b>Total</b>	<b>1,121</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de la base.

Por otra parte, los daños asegurados ajustados, es decir, actualizados con el “índice de precios al consumidor (IPC) el cual es un indicador mensual del aumento o disminución de los precios de una canasta de bienes y servicios que los hogares consumen habitualmente, calculado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)” (Banco Central de Colombia, 2023). Puede verse de la siguiente manera:

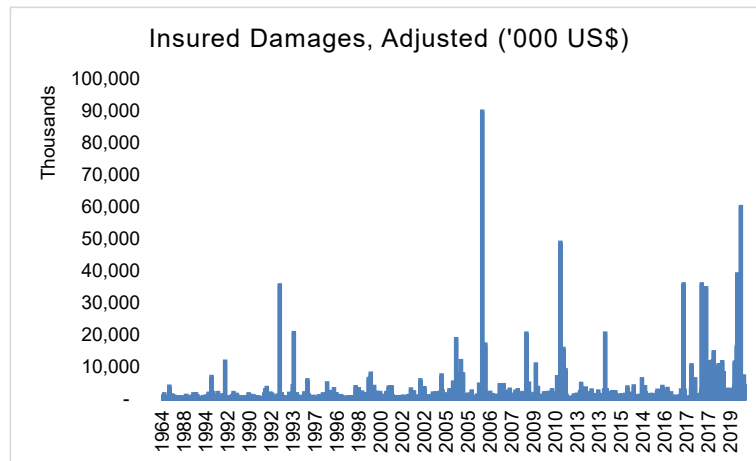
### Ilustración 5. Gráfico de dispersión de los daños asegurados ajustados



Fuente: Elaboración propia a partir de la base.

Los daños asegurados por año se pueden observar en la Ilustración 6:

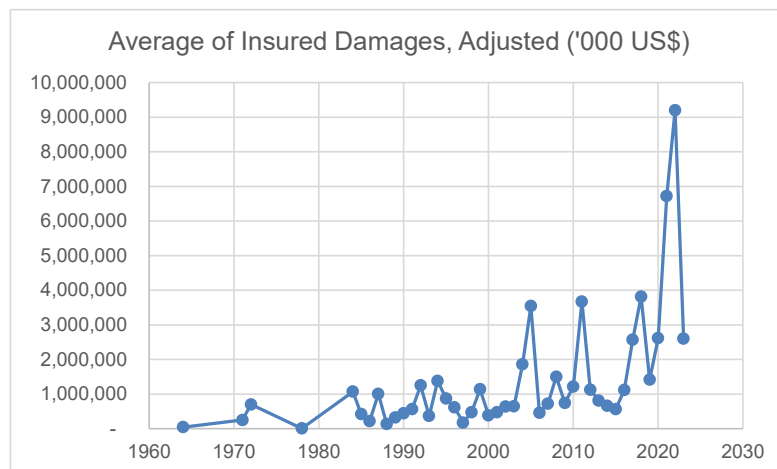
### Ilustración 6. Daños asegurados ajustados por año



Fuente: Elaboración propia a partir de la base.

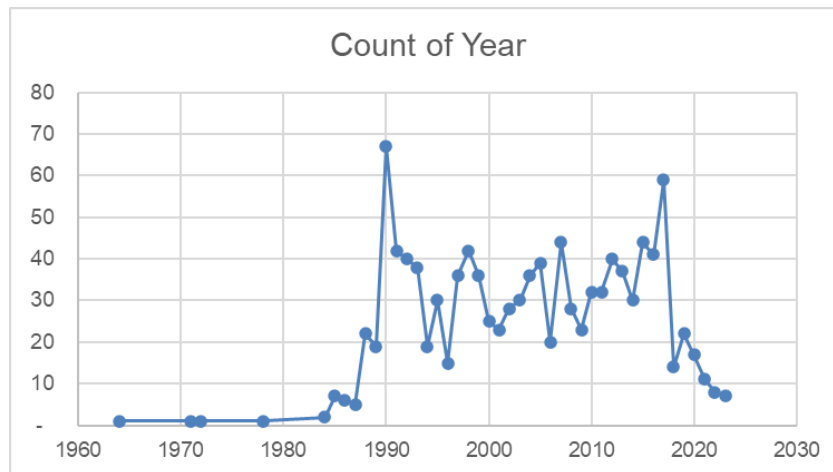
El promedio de los daños asegurados ajustados por año puede verse así:

### Ilustración 7. Daños asegurados ajustados promedio por año



Fuente: Elaboración propia a partir de la base.

**Ilustración 8. Número de siniestros asegurados por año**



Fuente: Elaboración propia a partir de la base.

Algunas de las características de las variables de tipo carácter se presentan en la Tabla 3 y las correspondientes características para las variables de tipo numérico se observan en la Tabla 4.

**Tabla 3. Características de las variables de tipo carácter**

Variable	Faltantes	Mínimo	Máximo	Valores únicos
Dis No	0	13	13	1,121
Seq	0	4	4	553
Disaster Group	0	7	13	2
Disaster Subgroup	0	11	14	5
Disaster Type	0	5	19	9
Country	0	4	58	92
ISO	0	3	3	92
Region	0	9	25	17
Continent	0	4	8	5
Location	94	5	2,077	989

Fuente: Elaboración propia a partir de la base.



**Tabla 4. Características de las variables de tipo numérico**

Variable	Faltantes	Media	Sd	p25	p50	p75	hist
Year	0	2,003.71	10.59	1,995	2,004	2,013	---■
Start Year	0	2,003.71	10.59	1,995	2,004	2,013	---■
Start Month	1	5.99	3.36	3	6	9	■■■■■
Start Day	29	15.52	8.86	8	15	24	■■■■■
End Year	0	2,003.72	10.60	1,995	2,004	2,013	---■
End Month	0	6.16	3.36	3	6	9	■■■■■
End Day	27	15.48	8.93	8	15	23	■■■■■
Total Deaths	281	1,088.81	11,328.84	4	11	40	■___
No Injured	728	4,605.94	28,558.02	24	88	348	■___
No Affected	614	3,136,693.01	20,580,507.37	2,180	18,000	252,922	■___
No Homeless	986	226,074.18	1,413,089.57	600	5,800	42,334	■___
Total Affected	428	2,341,462.49	17,951,884.09	550	5,948	105,000	■___
Insured Damages ('000 US\$)	0	917,629.47	3,698,664.94	50,000	166,400	515,000	■___
Insured Damages, Adjusted ('000 US\$)	0	1,253,776.18	4,730,006.96	91,564	254,933	808,799	■___
CPI	7	64.85	15.33	52	65	80	---■■■

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de EM Data.

Para realizar el ejercicio, se propone un escenario hipotético sobre una aseguradora que pretende contratar un reaseguro no proporcional catastrófico.

## 1. Descripción de la compañía:

La Compañía SLA es una entidad líder en el sector de seguros, especializada en ofrecer en soluciones innovadoras y personalizadas a clientes en todo el mundo. Fundada en 1990, la compañía ha mantenido una sólida posición financiera y una reputación de confianza en la industria. SLA opera en diversas líneas de negocios, sin embargo, quiere iniciar con seguros de tipo catastrófico por lo que no cuenta con datos propios y en Colombia no se cuenta con una base libre que pueda ser de utilidad para el análisis del nuevo producto, por lo que se usó la base de EMDAT. Al estar en dólares, el análisis que se hará estará en dólares, que, por la tasa de cambio a pesos colombianos, da una idea de la cuantía alta que se puede llegar a tener.

## 2. Determinación del apetito de riesgo:

La estrategia de apetito de riesgo de SLA se basa en un enfoque que busca optimizar la rentabilidad mientras mantiene la estabilidad financiera. La compañía está dispuesta a asumir riesgos moderados en busca de oportunidades de crecimiento, pero mantiene una fuerte disciplina en la gestión de riesgos para evitar exposiciones excesivas. SLA se enfoca en la diversificación de su cartera y utiliza herramientas avanzadas de modelado de riesgos para evaluar y mitigar las posibles pérdidas.

## 3. Análisis de los Riesgos en el Contrato de Reaseguro de XL CAT:

En el contrato de reaseguro de XL CAT, SLA identifica varios riesgos clave que deben abordarse de manera integral. Entre estos riesgos se incluyen:

**A. Riesgo Catastrófico:** Dada la exposición significativa a eventos catastróficos, como huracanes y terremotos, el contrato debe contener disposiciones claras sobre límites y exclusiones relacionadas con tales eventos, y se deben establecer límites de retención apropiados.

**B. Riesgo de Solvencia del Cedente:** La salud financiera de XL CAT es esencial. Un análisis detallado de sus estados financieros y prácticas de gestión de riesgos es crucial para garantizar que el cedente tenga la capacidad de cumplir con sus obligaciones bajo el contrato de reaseguro.

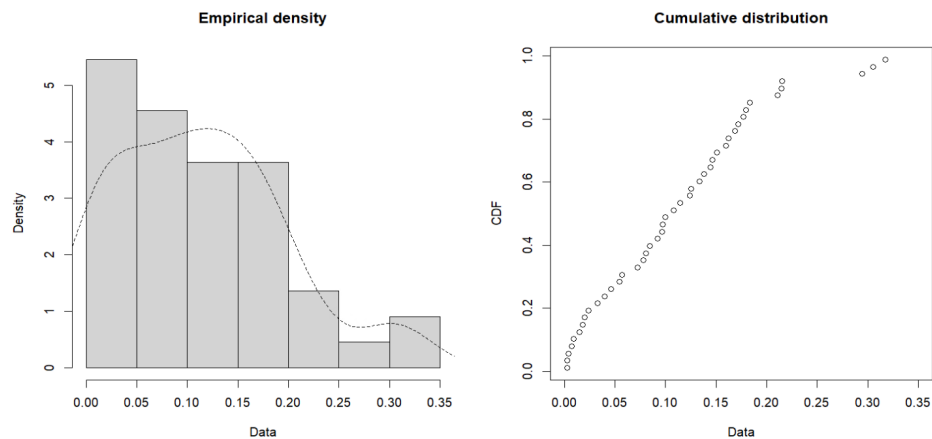
- C. Cambios Regulatorios:** Considerar los posibles cambios en la regulación de seguros y reaseguros que podrían afectar el entorno operativo y financiero, y garantizar que el contrato sea lo suficientemente flexible para adaptarse a tales cambios.
- D. Riesgos Operativos:** Evaluar los procesos operativos de XL CAT para identificar posibles riesgos de operación que podrían afectar la capacidad de cumplir con las obligaciones contractuales, y establecer mecanismos para mitigar estos riesgos.

Para encontrar la función de distribución de los datos, se calcularon la frecuencia, y severidad de los siniestros. Se usaron varias librerías del software estadístico R.

### 5.1. DISTRIBUCIÓN DE LA FRECUENCIA

Para encontrar la distribución que mejor se ajusta a los datos de frecuencia, se hizo un análisis de los datos, realizando gráficas para observar la distribución empírica, a continuación, se presentan el histograma de frecuencias y la distribución acumulada:

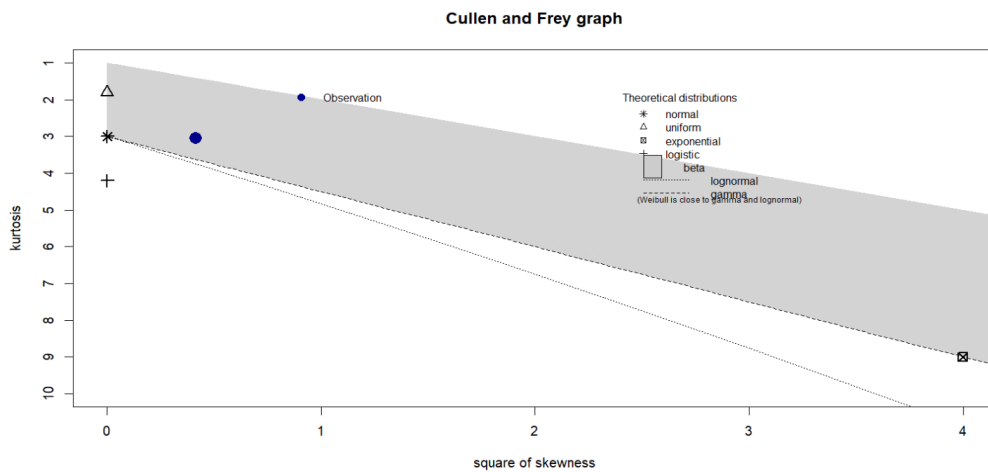
**Ilustración 9. Funciones empíricas de los datos.**



**Fuente:** Elaboración propia.

Para acercarse más a la decisión sobre el tipo de distribución, se utilizan estadísticos de curtosis y skewness. Si el valor de skewness es diferente de cero indica que carece de simetría la distribución empírica, y la curtosis cuantifica el peso de los extremos, ya que un valor de 0 es la curtosis de una distribución normal. Se empleó la función de R llamada *descdist*. Se obtuvo el gráfico de Cullen & Frey, el cual sugiere diferentes distribuciones mediante una comparación de la curtosis contra el coeficiente de asimetría, que se muestra a continuación:

**Ilustración 10. Gráfica de Cullen & Frey para la frecuencia**



**Fuente:** Elaboración propia.

Y obteniendo los siguientes resultados:

**Ilustración 11. Resultados de estadísticos para la severidad**

```
summary statistics
-----
min: 0.002680965  max: 0.3174603
median: 0.1038461
mean: 0.1130722
estimated sd: 0.08261876
estimated skewness: 0.6421164
estimated kurtosis: 3.050486
```

**Fuente:** Elaboración propia.

Los resultados indican que la distribución es asimétrica positivamente (la asimetría es positiva), lo que indica una cola más pesada en el lado derecho de la distribución. Además, la curtosis es relativamente alta, lo que sugiere una distribución con colas más pesadas que una distribución normal, la que más se

ajusta viendo estos resultados junto con la gráfica puede considerarse una función Gamma. Sin embargo, debido a que es una propuesta se realizaron diferentes pruebas sobre el ajuste de los datos.

Los resultados de las distribuciones que se probaron para ajustar los valores de frecuencia son los siguientes:

**Tabla 5. Resultados de las distribuciones para la frecuencia.**

Distribución	Loglikelihood	AIC	BIC
Gamma	52.33	-100.66	-97.10
Weibull	52.98	-101.96	-98.39
Beta	53.34	-102.69	-99.12
Exponential	51.91	-101.82	-100.03
EVT	-49.97	-93.94	-88.59

Fuente: Elaboración propia.

Cómo puede observarse, según el AIC y BIC, los menores valores se dan para el ajuste por la teoría del valor extremo (EVT) por lo que es el modelo que mejor se ajusta a los datos. Los resultados de este tipo de ajuste fueron:

**Ilustración 12. Resultados del modelo EVT para la frecuencia.**

```
fevd(x = Datos$Frecuencia)
[1] "Estimation Method used: MLE"

Negative Log-Likelihood Value: -49.97206

Estimated parameters:
  location      scale      shape
0.07590486 0.06715504 -0.03278123

Standard Error Estimates:
  location      scale      shape
0.011978316 0.009011175 0.148932825

Estimated parameter covariance matrix.
  location      scale      shape
location 0.00014348005 0.00004624783 -0.0008241754
scale    0.00004624783 0.00008120127 -0.0006538023
shape    -0.00082417539 -0.00065380234 0.0221809865

AIC = -93.94413
BIC = -88.59156
```

Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración se pueden observar los valores del logaritmo natural de verosimilitud (log-likelihood), los parámetros estimados (estimated parameters), la estimación de error estándar (standard error estimates) y la matriz de covarianza (covariance matrix) de los parámetros ubicación (location), escala (scale) y forma (shape) y finalmente se puede observar los respectivos valores de criterios de información AIC y BIC. La función de densidad de probabilidad de la EVT está dada por la fórmula:

**Ecuación 8. Función de densidad para modelos de la teoría del valor extremo**

$$f(x, \mu, \sigma, \xi) = \frac{1}{\sigma} * \left[ 1 + \xi \left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-1/\xi - 1} \text{Exp} \left\{ - \left[ 1 + \xi \left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-1/\xi} \right\}$$

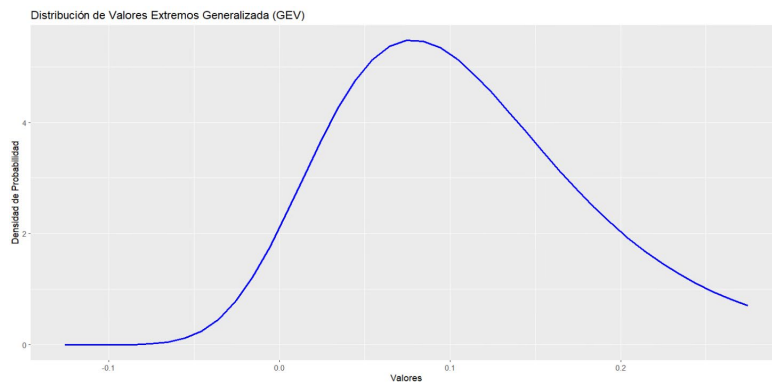
**Fuente:** Tomado de (Almonacid, 2017).

Donde:

- $\mu$  es el parámetro de ubicación,
- $\sigma$  es el parámetro de escala,
- $\xi$  es el parámetro de forma,
- $X$  es la variable aleatoria.

Al realizar la gráfica del comportamiento y compararla con los datos que se tienen, puede observarse que la función puede ajustarse correctamente a los datos.

**Ilustración 13. Distribución ajustada de frecuencia**

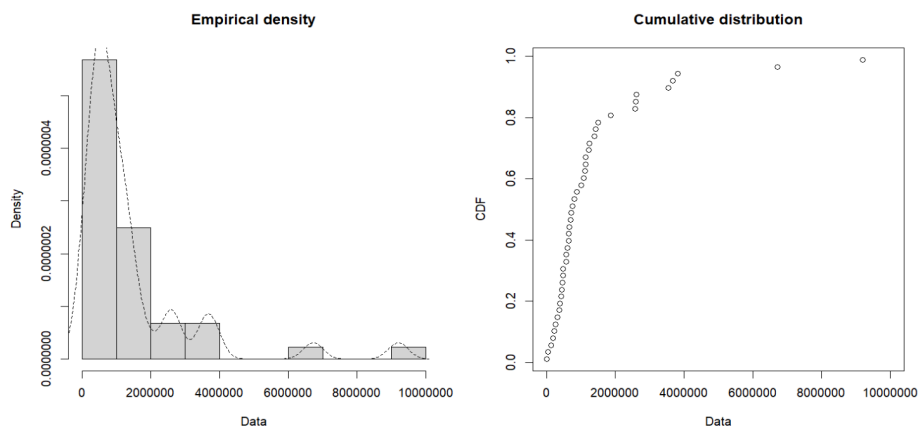


**Fuente:** Elaboración propia.

## 5.2. DISTRIBUCIÓN DE LA SEVERIDAD

Para encontrar la distribución que mejor se ajusta a los datos de severidad, se hizo un análisis de los datos, realizando gráficas para observar la distribución empírica, a continuación, se presentan el histograma de frecuencias y la distribución acumulada:

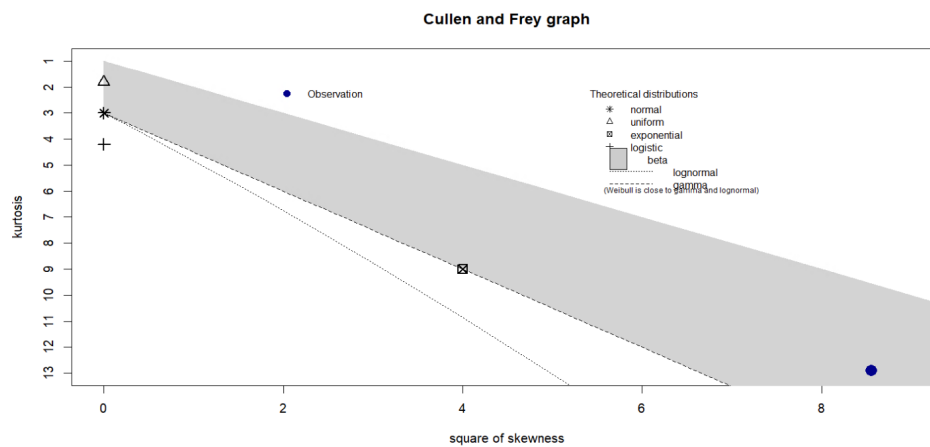
**Ilustración 14. Funciones empíricas para la severidad**



Fuente: Elaboración propia.

Y la gráfica de Cullen & Frey, que se muestra a continuación:

**Ilustración 15. Gráfica de Cullen & Frey para la frecuencia**



Fuente: Elaboración propia.

Y obteniendo los siguientes resultados:

**Ilustración 16. Resultados de estadísticos para la severidad.**

```
summary statistics
-----
min: 8973   max: 9200875
median: 732502.3
mean: 1376326
estimated sd: 1757497
estimated skewness: 2.924733
estimated kurtosis: 12.89906
```

**Fuente:** Elaboración propia.

Los resultados indican que se tiene una distribución sesgada hacia la derecha, ya que la media es mayor que la mediana y la estimación de la asimetría es positiva. Además, la curtosis es relativamente alta, lo que sugiere distribuciones de colas pesadas en comparación con una distribución normal.

Los resultados de las distribuciones que se probaron para ajustar los valores de severidad son los siguientes:

**Tabla 6. Resultados de las distribuciones para la severidad.**

<b>Distribución</b>	<b>Loglikelihood</b>	<b>AIC</b>	<b>BIC</b>
Lognormal	-666.58	1,337.17	1,340.73
Pareto	-664.88	1,333.76	1,337.33
Weibull	-665.76	1,335.53	1,339.09
Logística	-664.09	1,332.18	1,335.75
EVT	663.81	1,333.62	1,338.98

**Fuente:** Elaboración propia.

Cómo puede observarse, según el AIC y BIC, los menores valores se dan para el ajuste con la distribución Logística, sin embargo, al verificar los datos y graficarla no es muy conveniente con el tipo de datos a modelar. Por lo que, tomaremos también los resultados del modelo EVT. Los resultados de este tipo de ajuste fueron:



### Ilustración 17. Resultados del modelo EVT para la severidad.

```
fevd(x = Datos$Severidad)
[1] "Estimation Method used: MLE"

Negative Log-Likelihood Value: 663.8113

Estimated parameters:
  location      scale      shape
582373.3904946 552048.6395645 0.5322588

Standard Error Estimates:
  location      scale      shape
94119.175670 94251.216198 0.155761

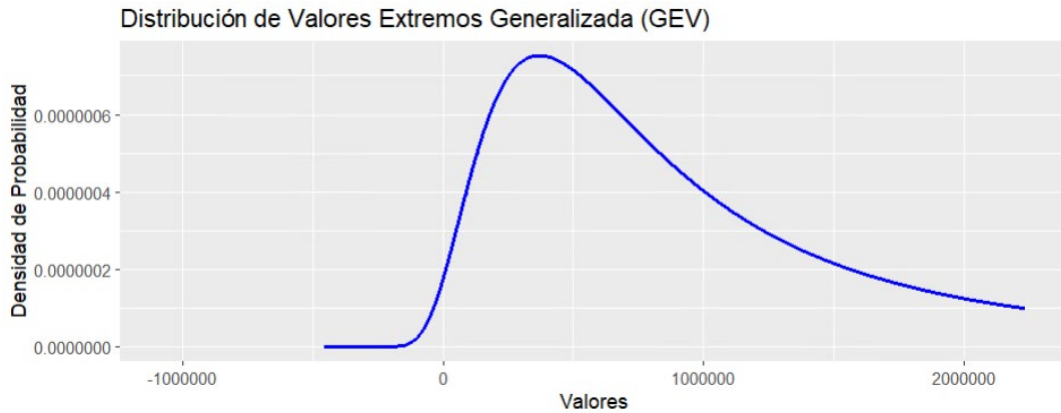
Estimated parameter covariance matrix.
  location      scale      shape
location 8858419228.847 6551797772.24 -3076.04274324
scale 6551797772.243 8883291754.73 2556.60984637
shape -3076.043 2556.61 0.02426148

AIC = 1333.623
BIC = 1338.975
```

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la **Ecuación 8**. Se realizó la gráfica de resultante de la función de distribución de la severidad, como puede verse a continuación:

### Ilustración 18. Distribución de la severidad.



Fuente: Elaboración propia.

Al comparar con la **Ilustración 14**, se encuentra similitud con la empírica arrojada por el programa.

Habiendo seleccionado las funciones de distribución para la frecuencia y severidad, utilizaremos la función de pérdidas agregadas, la cual es fundamental

en el análisis de riesgo y reaseguro, especialmente cuando se trata de evaluar el impacto acumulado de múltiples eventos de pérdida.

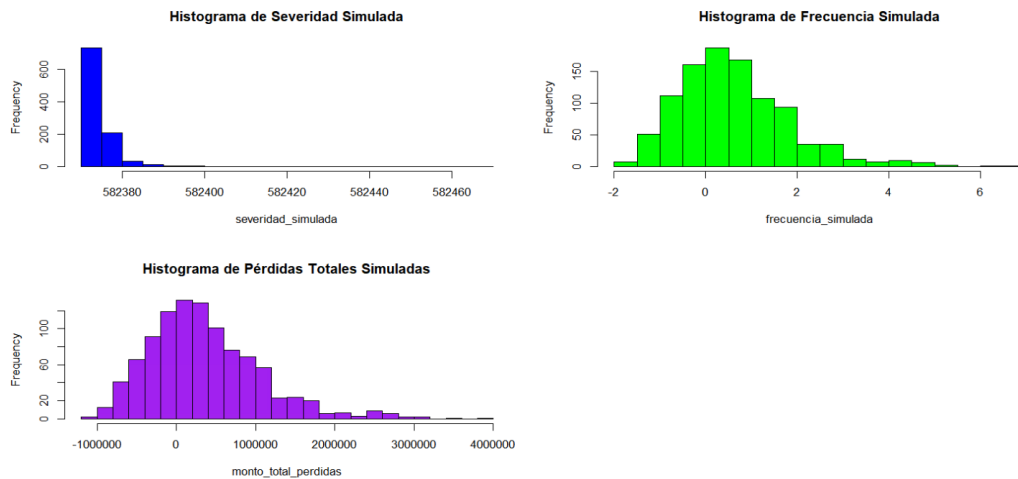
### 5.3. PÉRDIDAS AGREGADAS

La función de pérdidas agregadas proporciona información sobre el riesgo total al que se enfrenta la entidad aseguradora. La construcción de esta función implica considerar la función de pérdida conjunta de frecuencia y severidad, ya que la pérdida total es el resultado de multiplicar la frecuencia por la severidad.

Se realizó un análisis de Monte Carlo conjunto para la severidad y frecuencia de mil simulaciones en el software estadístico R (El código de desarrollo se encuentra en el **ANEXO 2**). Se realizaron mil simulaciones, ya que los resultados obtenidos a partir de este número de simulaciones son más consistentes y menos susceptibles a variaciones aleatorias.

Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

**Ilustración 19. Resultados del análisis de Monte Carlo.**



**Fuente:** Elaboración propia.

Y las estadísticas descriptivas para los montos totales de pérdidas simuladas son:

**Tabla 7. Estadística descriptiva de los montos totales de pérdidas**

<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>
Mínimo	-1,104,593
Primer cuantil	-141,724
Mediana	253,670
Media	356,936
Tercer cuantil	743,550
Máximo	3,984,551

**Fuente:** Elaboración propia.

De estos valores se puede concluir:

- La presencia de valores negativos y la diferencia significativa entre la mediana y la media podrían sugerir que la distribución de pérdidas totales no es simétrica y puede estar sesgada hacia la izquierda.
- El rango entre el primer cuantil y el tercer cuantil es amplio, indicando una variabilidad sustancial en los resultados.
- La identificación de valores atípicos y la revisión de escenarios específicos asociados con pérdidas negativas pueden ser áreas de enfoque para comprender mejor la distribución de riesgos.

#### **5.4. CESIÓN**

Como la base que se usó, es muy grande y tiene información de todos los siniestros catastróficos que han ocurrido en todo el mundo, funcionó para dar una idea de lo que ocurre con este tipo de riesgo, a continuación, se hace un análisis para los montos agregados, haciendo iteraciones sobre los límites de cesión que podrían llegar a establecerse en el contrato de reaseguro.

Se establecieron límites de cesión basados en escenarios simulados para los montos totales de pérdida, mediante cuantiles que proporcionan umbrales que delimitan diferentes niveles de riesgo. Los cuantiles seleccionados, y el resultado de los límites de cesión son:

**Tabla 8. Posibles límites de cesión**

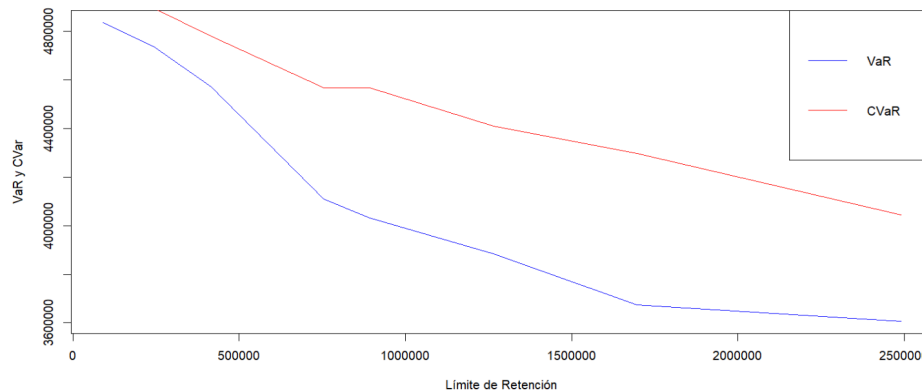
Percentil	Límite de cesión
40	90,671.00
50	242,268.74
60	415,933.40
75	754,854.10
80	892,599.12
90	1,264,951.13
95	1,696,676.37
99	2,490,751.32

**Fuente:** Elaboración propia.

Estos resultados ofrecen una visión mayor frente a pérdidas potenciales, los límites de cesión indican hasta qué punto se retienen ciertos porcentajes de pérdidas. Por ejemplo, para el percentil 99, con un límite de cesión de 2,490,751 dólares, habla de cómo el modelo está basado en eventos extremadamente raros, pero potencialmente devastadores.

Teniendo los resultados de la **Tabla 8**. Se realizó un análisis sobre los diferentes montos de cesión junto con el cálculo del VaR y CVaR. Los resultados fueron:

**Tabla 9. VaR y CVaR por cada límite de cesión.**



**Fuente:** Elaboración propia.

En cuanto a ambas medidas de riesgo VaR y CVaR pueden verse que, a medida que aumenta el percentil, estas medidas disminuyen, lo que indica una menor pérdida esperada. Entre mayor sea la cesión, el riesgo que la compañía tiene es menor, pero al no retener mucho, el negocio puede no serle rentable.

Escoger entonces, el mejor límite de cesión depende del apetito al riesgo de la compañía, pero además al capital de solvencia que posee para cumplir con las obligaciones futuras. Si consideramos que la compañía es antigua y su apetito al riesgo, es moderado bajo y, especialmente al tratarse de un nuevo producto, puede considerarse una cesión por este riesgo entre el 50% y el 75%.

## **5.5. CRITERIOS DE DECISIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LOS CONTRATOS**

Luego del desarrollo de este ejercicio, se destaca la importancia de establecer criterios para una toma de decisiones sobre los contratos de reaseguro no proporcional más precisa y menos arriesgada para la compañía, durante el ejercicio se maneja una secuencia de pasos que ayudaron a un mejor desarrollo y comprensión del riesgo. Los criterios de decisión son:

1. Evaluar el capital disponible y la solvencia de la entidad. De esta manera pueden hacerse una idea sobre la coherencia de los niveles de retención con la capacidad financiera de la entidad para absorber pérdidas sin comprometer la solvencia.
2. Realizar una evaluación exhaustiva de los riesgos que estás buscando cubrir.
3. Establecer y/o evaluar los objetivos estratégicos de la entidad, junto con el perfil de riesgo de la compañía.
4. Recopilar información sobre el riesgo que se desea cubrir, ya sea propia de la compañía o la disponible del mercado que se asemeje al desarrollo del riesgo que se desea cubrir.
5. Llevar a cabo un análisis estadístico de la información, ya sea mediante simulaciones sobre el comportamiento del riesgo, o diferentes cálculos que puedan ayudar a predecir la siniestralidad futura y, por lo tanto, evaluar el impacto del riesgo.

6. Evaluar la necesidad del reaseguro, determinar diferentes límites de retención/cesión basados en los escenarios simulados y analizar los diferentes escenarios de retención, luego calcular medidas de riesgo como el CVaR y el VaR, que puedan dar una idea de cual límite es más apropiado respecto al apetito de riesgo de la compañía.
7. Realizar análisis de sensibilidad para evaluar cómo los cambios en las condiciones del mercado o en los parámetros del modelo afectarían las decisiones de retención/cesión.
8. Revisar el cumplimiento con los requisitos normativos y regulatorios relacionados con los niveles de retención y cesión de la normativa aplicable.
9. Analizar que se esté alineado con el programa de reaseguro de la compañía.
10. Implementar un proceso de revisión periódica. Las condiciones del mercado y la posición financiera de la entidad pueden cambiar con el tiempo, por lo que es importante ajustar los niveles de retención y cesión según sea necesario.

Estos criterios, se fueron construyendo a medida que se fue realizando el ejercicio, los modelos y el análisis estadístico, evaluar la conveniencia de un contrato de reaseguro no proporcional, es una tarea que requiere mucha información y comprensión del negocio y el riesgo que se quiere transferir.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

De los resultados obtenidos se muestran una lista de criterios (ver la sección 5.5) para la evaluación de los contratos, para que las entidades, junto con un modelo para eventos catastróficos, cumplan con los objetivos analizados descriptiva y estadísticamente. El modelo de valores extremos nos permitió modelar la frecuencia y severidad de los datos de la cartera catastrófica, así como las pérdidas agregadas lo que permitió el análisis del impacto de los eventos de pérdidas.

Estos criterios pueden impactar en la gestión del riesgo catastrófico a nuevas entidades al estudiar de manera detallada los riesgos a los que se enfrentaría así permite disminuir el riesgo de elegir un límite de cesión que no es acorde a su apetito de riesgo o a las características de la compañía, ya que, al ceder más riesgo provoca menos ganancias

o ceder menos riesgo y causar un incumplimiento con sus obligaciones en caso de que el evento ocurra.

Estos criterios aplicadas en la realidad ayudarán principalmente a entidades aseguradoras que no tengan experiencia en el sector, además permite analizar el comportamiento de los datos catastróficos a nivel mundial. Las entidades aseguradoras que cuenten con experiencia en el sector y ese tipo de riesgos podrán utilizar estos criterios para ajustar sus contratos y en particular, su porcentaje de cesión mejorando así sus ganancias.

En el futuro sería interesante estudiar el reaseguro no proporcional en otro tipo de riesgos que ofrecen las compañías de seguros como en el ramo de la salud o el ramo de cumplimiento, además puede ser aplicado a una entidad con información real y actualizada de los eventos que se han presentado en la misma.

## **7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Aguilar, A. F. (2017). *Análisis multicriterio del problema de reaseguro óptimo*. Madrid: Facultad de ciencias económicas y empresariales de la Universidad Complutense de Madrid.

Almonacid, L. (2017). *Aplicación de la teoría de valor extremo sobre el índice de precios selectivo de acciones (IPSA) de la bolsa de valores de Chile*. Santiago: Universidad de Chile.

Álvarez, L. A. (2019). *Optimización del reaseguro a través de la metodología de frontera eficiente*. Medellín: Universidad EAFIT, Escuela de economía y finanzas.

Areneda, P. (27 de Abril de 2021). *Tidyverse para Data Análisis*. Obtenido de RPubS by RStudio: <https://rpubs.com/paraneda/tidyverse>

Banco Central de Colombia. (2023). *Banco de la república de Colombia*. Obtenido de índice de precios al consumidor (IPC): <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/indice-precios-consumidor-ipc>

Caiche, F. (2017). *Determinación de retenciones óptimas de reaseguros para una empresa de seguros del mercado ecuatoriano para el ramo de vehículos*.

Guayaquil - Ecuador: Escuela superior politécnica del Litoral, Facultad de ciencias naturales y matemáticas, Departamento de postgrado. .

Cisneros, A. I. (7 de Junio de 2017). *Lubridate en R*. Obtenido de RPubs by RStudio:  
<https://rpubs.com/alcisner/lubridate>

Consorti, A. M. (2009). *Reaseguro*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias.

Consultoría Actuarial. (12 de 09 de 2016). *Consultoría Actuarial*. Obtenido de Introducción al reaseguro de daños:  
<https://www.consultoriaactuarial.com/2016/09/12/introduccion-al-reaseguro-de-danos/>

Diaz-Leante, A. (2011). *La gestión del riesgo catastrófico en seguros de Vida*. Bogotá: Tercer Simposio Internacional de Actuaría.

Experto. (7 de Abril de 2001). *Valor de riesgo VaR, sesgo y Kurtosis dentro de la gráfica del valor de riesgo*. Obtenido de GestioPolis: <https://www.gestiopolis.com/valor-riesgo-var-sesgo-kurtosis-dentro-grafica-valor-riesgo/>

Fasecolda. (1991, 1993). *Fasecolda Federación de Aseguradoras Colombianas*. Obtenido de Capitulo 8.2 Regimen de Seguros:  
<https://publicaciones.fasecolda.com/regimen-de-seguros/chapter/p3-c8-2/>

Fasecolda. (2014). *Fasecolda Federación de Aseguradoras Colombianas*. Obtenido de Programa de reaseguro | Circular Externa 029 de 2014:  
<https://publicaciones.fasecolda.com/regimen-de-seguros/chapter/p3-c8-2/>

Fasecolda. (2018). *Viva Seguro Fasecolda, Programa de educación financiera*. Obtenido de Glosario: <https://www.vivasegurofasecolda.com/seguros/glosario/>

Fernández, A. A. (17 de Noviembre de 2017). *Ajuste de distribuciones: ejemplo de Delynette-Muller and Dutang 2015*. Obtenido de RPubs by RStudio:  
<https://rpubs.com/aafernandez1976/fitdistrplus>



- Flores, G. (12 de Agosto de 2019). *¿Cómo interpretar Skewness?* Obtenido de La respuesta: <https://la-respuesta.com/articulos-populares/como-interpretar-skewness/>
- Fundación Mapfre. (2010). *Introducción al reaseguro*. Madrid.
- Jara Padilla, R., & Melgar Chamorro, J. P. (2007). *VaR vs. CVaR. ¿Qué estimador se ajusta mejor al riesgo de mercado de renta variable en el Perú?* Perú.
- Kalida. (28 de 03 de 2014). *Quantdare*. Obtenido de Teoría de valores extremos: <https://quantdare.com/teoria-valores-extremos/>
- López, A. M. (2011). *Estudio del AIC y BIC en la selección de modelos de vida con datos censurados*. Guanajuato: Centro de investigación en Matemáticas A.C.
- López, J. F. (1 de Septiembre de 2020). *Simulación de Montecarlo*. Obtenido de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/simulacion-de-montecarlo.html>
- Lozano, P., Caicedo, J., & Silva, W. (2005). *Conceptos básicos del reaseguro*. Chia, Cundinamarca: Universidad de la Sabana.
- M. Andreadakis, H. R. (1980, Agosto 29). The Effect of Reinsurance on the Degree of Risk Associated with an Insurer's Portfolio. *Boletín ASTIN: The Journal of the IAA*, 119-135. Retrieved from Cambridge University Press: <https://www.cambridge.org/core/journals/astin-bulletin-journal-of-the-iaa/article/effect-of-reinsurance-on-the-degree-of-risk-associated-with-an-insurers-portfolio/4088D521D5C993D0CDDA4AD692A9E344#article>
- Medel, C. A. (2015). *Probabilidad clásica de sobreajuste con criterios de información: estimaciones con series macroeconómicas chilenas*. Reino Unido: Revista de análisis económico.
- Mochales, I. S. (2013). *Modelos estadísticos para valores extremos y aplicaciones*. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.

- Navia, L. J. (1991). *Principios y fundamentos del reaseguro*. Bogotá: Concurso José Ignacio de Marquez sobre Derecho Económico.
- Quiroga P., C., Contador A., S., & Claro E., F. (2006). *Teoría del Valor Extremo: Aplicación de la teoría al índice NASDAQ*. Chile: Departamento de Administración Universidad de Chile.
- Rico, V. A. (9 de Diciembre de 2020). *Asimetría y curtosis medidas de forma en R*. Obtenido de Finanzas cuantitativa en español: <https://ricovictor.com/index.php/2020/12/09/asimetria-y-curtosis-medidas-de-forma-en-r/>
- Rodríguez, E. M. (03 de Enero de 2023). *PuntoSeguro*. Obtenido de <https://www.puntoseguro.com/blog/que-es-el-reaseguro/#:~:text=Reaseguro%20no%20proporcional%3A%20el%20reasegurador,dinero%20que%20se%20hubiera%20fijado.>
- Salazar Jiménez, E. J., & Alzate Castro, W. A. (s.f.). *Simulación Montecarlo: análisis de una herramienta para la proyección del estado de resultados. Un estudio de caso*. Obtenido de Intercostos.org: <https://intercostos.org/documentos/congreso-15/SALAZAR-JIMENEZ.pdf>
- Troutman, M., & Hoffer, D. (April de 2018). *Managing Catastrophe—Managed care reinsurance market trends and catastrophic medical claims developments*. Obtenido de Contingencias: <https://contingencias.org/managing-catastrophe-managed-care-reinsurance-market-trends-catastrophic-medical-claims-developments/>
- Unespa. (2020). *La solvencia aseguradora*. Madrid, Núñez de Balboa,, España.
- Université catholique de Louvain - Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. (21 de Marzo de 2023). *The International Disaster Database*. Brussels, Louvain, Belgium.

## 8. ANEXOS

A continuación, se presentan los anexos empleados en el documento.

### 8.1. ANEXO 1. VARIABLES DE LA BASE DE DATOS DE EM- DAT

Se presenta la descripción de las variables iniciales de la base de datos que se utilizó:

Nombre de columna	Tipo	Descripción
Dis No.	DNI, Obligatorio	Un identificador único de 8 dígitos que incluye el año (4 dígitos) y un número secuencial (4 dígitos) para cada evento de desastre (es decir, 2004-0659). En la tabla pública EM-DAT, se adjunta el código de país ISO. Consulte la columna <b>ISO</b> a continuación.
Historic	Sí/No, Obligatorio	Campo binario que especifica si el desastre ocurrió antes del año 2000, utilizando el <b>Año de inicio</b> . Los datos anteriores al año 2000 deben considerarse de menor calidad (ver <a href="#">Sesgo temporal</a> ).
Classification Key	DNI, Obligatorio	Una cadena única de 15 caracteres que identifica los desastres en términos de la jerarquía de clasificación de <b>Grupo, Subgrupo, Tipo y Subtipo</b> . Ver <a href="#">Sistema de Clasificación de Desastres</a> .
Disaster Group	Nombre, Obligatorio	El grupo de desastre, es decir, “Natural” o “Tecnológico”. Ver <a href="#">Sistema de Clasificación de Desastres</a> .
Disaster Subgroup	Nombre, Obligatorio	El subgrupo de desastres. Ver <a href="#">Sistema de Clasificación de Desastres</a> .

Nombre de columna	Tipo	Descripción
Disaster Type	Nombre, Obligatorio	El tipo de desastre. Ver <a href="#">Sistema de Clasificación de Desastres</a> .
Disaster Subtype	Nombre, Obligatorio	El subtipo de desastre. Ver <a href="#">Sistema de Clasificación de Desastres</a> .
External IDs	Lista de ID, opcional	Lista de identificadores de recursos externos ( <a href="#">GLIDE</a> , <a href="#">USGS</a> , <a href="#">DFO</a> ), en el formato “<fuente>:<identificador>” y separados por el carácter de barra vertical (“ ”).
Event Name	Opcional	Breve especificación para la identificación de desastres, por ejemplo, nombres de tormentas (por ejemplo, “Mitch”), tipo de avión en el accidente aéreo (por ejemplo, “Boeing 707”), nombre de la enfermedad (por ejemplo, “Cólera”) o nombre del volcán (por ejemplo, “Etna ”).
ISO	DNI, Obligatorio	El código de 3 letras de la Organización Internacional de Normalización (ISO) que hace referencia al <b>País</b> . Se utiliza la norma ISO 3166. Consulte <a href="#">Información espacial y codificación geográfica</a> .
Country	Nombre, Obligatorio	País donde ocurrió el desastre y tuvo impacto, utilizando nombres de la Norma M49 de la ONU. Consulte <a href="#">Información espacial y codificación geográfica</a> . Si varios países se ven afectados, cada uno tendrá una entrada vinculada al mismo <b>Dis No</b> .
Subregion	Nombre, Obligatorio	Subregión donde ocurrió el desastre según el estándar ONU M49, vinculado automáticamente al campo <b>País</b> . Consulte <a href="#">Información espacial y codificación geográfica</a> .
Region	Nombre, Obligatorio	Región o continente donde ocurrió el desastre según el estándar UN M49, vinculado automáticamente al campo <b>País</b> . Consulte <a href="#">Información espacial y codificación geográfica</a> .

Nombre de columna	Tipo	Descripción
Location	Texto, opcional	Nombre de la ubicación geográfica tal como se especifica en las fuentes, por ejemplo, ciudad, pueblo, departamento, provincia, estado o distrito. Se utiliza para identificar <b>las unidades de administración</b> GAUL correspondientes (consulte <a href="#">Índice GAUL y niveles de administración</a> ).
Origin	Texto, opcional	Especificaciones adicionales sobre los factores contextuales que provocaron el evento, por ejemplo, “lluvias intensas” para inundaciones o “sequía” para un incendio forestal.
Associated Types	Lista de nombres, opcional	Lista de tipos de desastres secundarios que ocurren en cascada o coexisten aparte del tipo principal (opcional), por ejemplo, un deslizamiento de tierra después de una inundación o una explosión después de un terremoto. Separados por el carácter de barra vertical (“ ”).
OFDA Response	Sí/No, Obligatorio	Campo binario que especifica si la Oficina de Asistencia para Desastres en el Extranjero de EE. UU. (OFDA) respondió o no al desastre.
Appeal	Sí/No, Obligatorio	Campo binario que especifica si hubo o no una solicitud de asistencia internacional por parte del país afectado.
Declaration	Sí/No, Obligatorio	Campo binario que especifica si se declaró estado de emergencia en el país.
Aid Contribution	Monto monetario no ajustado ('000 US\$), opcional	El monto total (en miles de dólares estadounidenses al momento del informe) de las contribuciones para actividades de socorro inmediato al país en respuesta al desastre, procedente del Sistema de Seguimiento Financiero de OCHA (1992 a 2015). No se mantiene después de 2015 debido a la falta de disponibilidad de

Nombre de columna	Tipo	Descripción
		información. Se puede encontrar información sobre la contribución de ayuda en <a href="https://fts.unocha.org/">https://fts.unocha.org/</a> .
Magnitude	Dependiente del tipo de desastre, opcional	La intensidad de un desastre específico (ver <a href="#">Unidades de magnitud de peligro y desastre</a> ).
Magnitude Scale	Dependiente del tipo de desastre, opcional	La unidad asociada para la columna <b>Magnitud</b> (consulte <a href="#">Unidades de magnitud de peligro y desastre</a> ).
Latitude	Grados [-90;90], Opcional	Coordenadas norte-sur principalmente para terremotos y actividad volcánica. A veces se informa sobre inundaciones, deslizamientos de tierra y tormentas (principalmente cuando están asociadas con inundaciones).
Longitude	Grados [-180;180], Opcional	Coordenadas este-oeste principalmente para terremotos y actividad volcánica. A veces se informa sobre inundaciones, deslizamientos de tierra y tormentas (principalmente cuando están asociadas con inundaciones).
River Basin	Texto, opcional	Nombre de las cuencas fluviales afectadas, normalmente utilizadas para inundaciones.
Start Year	Numérico, Obligatorio	Año de ocurrencia del desastre.
Start Month	Numérico, opcional	Mes de ocurrencia del desastre. Para desastres de impacto repentino, este campo está bien definido. Para desastres que se desarrollan gradualmente durante un período de tiempo más largo (por ejemplo, sequía) sin una

Nombre de columna	Tipo	Descripción
		fecha precisa de inicio, este campo se puede dejar en blanco.
Start Day	Numérico, opcional	Día de ocurrencia del desastre. Para desastres de impacto repentino, este campo está bien definido. Para desastres que se desarrollan gradualmente durante un período de tiempo más largo (por ejemplo, sequía) sin una fecha precisa de inicio, este campo se puede dejar en blanco.
End Year	Numérico, opcional	Año de conclusión del desastre.
End Month	Numérico, opcional	Mes de conclusión del desastre. Para desastres de impacto repentino, este campo está bien definido. Para desastres que se desarrollan gradualmente durante un período de tiempo más largo (por ejemplo, sequía) sin una fecha de finalización precisa, este campo se puede dejar en blanco.
End Day	Numérico, opcional	Día de conclusión del desastre. Para desastres de impacto repentino, este campo está bien definido. Para desastres que se desarrollan gradualmente durante un período de tiempo más largo (por ejemplo, sequía) sin una fecha de finalización precisa, este campo se puede dejar en blanco.
Total Deaths	Numérico, opcional	Total, de muertes (fallecidos y desaparecidos combinados, ver <a href="#">Variables de impacto humano</a> ).
No. Injured	Numérico, opcional	Número de personas con lesiones físicas, traumatismos o enfermedades que requieren asistencia médica inmediata debido al desastre (ver <a href="#">Variables de impacto humano</a> ).
No. Affected	Numérico, opcional	Número de personas que requieren asistencia inmediata debido al desastre (ver <a href="#">Variables de Impacto Humano</a> ).

Nombre de columna	Tipo	Descripción
No. Homeless	Numérico, opcional	Número de personas que necesitan refugio debido a que su casa fue destruida o gravemente dañada durante el desastre (ver <a href="#">Variables de impacto humano</a> ).
Total Affected	Numérico, opcional	Número total de personas afectadas (Sin <b>heridos</b> , <b>Sin afectados</b> y <b>Sin personas sin hogar</b> combinados; consulte <a href="#">Variables de impacto humano</a> ).
Reconstruction Costs ('000 US\$)	Monto monetario no ajustado ('000 US\$), opcional	Costos de reemplazo de activos perdidos en miles de dólares estadounidenses ('000 US\$) en relación con el <b>año de inicio</b> , sin ajustar por inflación (consulte <a href="#">Variables de impacto económico</a> ).
Reconstruction Costs, Adjusted ('000 US\$)	Monto monetario ajustado ('000 US\$), opcional	<b>Costos de reconstrucción ('000 US\$)</b> , ajustados por inflación utilizando el Índice de Precios al Consumidor (columna <b>IPC</b> , ver <a href="#">Ajuste Económico</a> ).
Insured Damage ('000 US\$)	Monto monetario no ajustado ('000 US\$), opcional	Daño económico cubierto por las compañías de seguros, en miles de dólares estadounidenses ('000 US\$), en relación con el <b>año de inicio</b> , sin ajustar por inflación (consulte <a href="#">Variables de impacto económico</a> ).
Insured Damage, Adjusted ('000 US\$)	Monto monetario ajustado ('000 US\$), opcional	<b>Daños asegurados ('000 US\$)</b> ajustados por inflación utilizando el Índice de Precios al Consumidor (columna <b>IPC</b> , ver <a href="#">Ajuste Económico</a> ).
Total Damage ('000 US\$)	Monto monetario no ajustado	Valor de todas las pérdidas económicas debidas directa o indirectamente al desastre, en miles de dólares estadounidenses ('000 US\$), en relación con el <b>año de</b>



Nombre de columna	Tipo	Descripción
	('000 US\$), opcional	<b>inicio</b> , sin ajustar por inflación (consulte <a href="#">Variables de impacto económico</a> ).
Total Damage, Adjusted ('000 US\$)	Monto monetario ajustado ('000 US\$), opcional	<b>Daños totales ('000 US\$)</b> ajustados por inflación utilizando el Índice de Precios al Consumidor (columna <b>IPC</b> , ver <a href="#">Ajuste Económico</a> ).
CPI	Relación de conversión, opcional	Índice de Precios al Consumidor de <a href="#">la OCDE</a> utilizado para ajustar los valores en dólares estadounidenses por inflación en relación con <b>el año de inicio</b> (ver <a href="#">Ajuste económico</a> ).
Admin Units	Matriz JSON de objetos, opcional	Colección de Unidades Administrativas impactadas del referencial FAO GAUL 2015 (Capas de Unidades Administrativas Globales 2015). Los objetos individuales corresponden a Unidades Administrativas de Nivel 1 o Nivel 2, con los campos correspondientes adm1_code, adm1_nameo adm2_code , adm2_nameque proporcionan el identificador único de la geometría en la capa GAUL y el nombre de la unidad, respectivamente. La geo codificación se mantiene para los peligros naturales no biológicos desde 2000 en adelante (ver <a href="#">Información espacial y geo codificación</a> ).
Entry Date	Fecha, Obligatorio	El día en que se creó el registro del evento en EM-DAT.
Last Update	Fecha, Obligatorio	La última modificación del evento o uno de sus registros asociados en EM-DAT. Es posible que esto no resulte en una modificación de la información en la tabla pública EM-DAT ya que las modificaciones en los campos privados también se registran.

**Fuente:** Tomado de EMD (Université catholique de Louvain - Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2023).

## 8.2. ANEXO 2. CÓDIGO DE DESARROLLO EN RSTUDIO

El Código de R studio utilizado:

```
packages <- c("tidyverse","lubridate","readxl","lemon", "openxlsx",
"dbplyr","fitdistrplus","ismev",

"actuar","data.table","extRemes","fitdistrplus","skimr","ggplot2","VGAM","evir",
"corrplot","gamlss","gamlss.dist","gamlss.tr","gridGraphics",
"ggpubr","officer","broom","PerformanceAnalytics")
new.packages <- packages[!(packages %in%
installed.packages()[,"Package"])]

install.packages(new.packages)
for (i in packages) {do.call("library",list(format(i)))}
options(scipen = 999)

#Directorio
setwd("D:/Carpeta_General/Camila")

#Daños asegurados
Base <- read_excel("emdat_public_2023_09_21_query_uid-
yjGYCL.xlsx",sheet="Datos Daños asegurados")
Datos <- read_excel("Datos.xlsx")

#Descripción de los datos
resumen_estadistico <- function(variable) {
  resumen <- skimr::skim(Base[[variable]])
  resumen$Variable <- variable
```

```

return(as.data.frame(resumen)) # Convertir a dataframe
}

# Aplicar la función a cada variable y combinar resultados en un dataframe
resumen_df <- lapply(names(Base), resumen_estadistico) %>%
  bind_rows()
fwrite(resumen_df,"Resumen Estadistico.txt",sep = "|",row.names = FALSE)

#Modelos

#Frecuencia
plotdist(Datos$Frecuencia, histo=TRUE, demp=TRUE)
descdist(Datos$Frecuencia)

#Función de distribución Frecuencia
modelo_evt <- fevd(Datos$Frecuencia)
summary(modelo_evt)

# Distribuciones distintas
ajuste_manual <- fitdist(Datos$Frecuencia, "gamma", method = "mle")
ajuste_manual_2 <- fitdist(Datos$Frecuencia, "weibull", method = "mle")
ajuste_manual_3 <- fitdist(Datos$Frecuencia, "beta", method = "mle")
ajuste_manual_4 <- fitdist(Datos$Frecuencia, "exp", method = "mle")

summary(ajuste_manual)
summary(ajuste_manual_2)
summary(ajuste_manual_3)
summary(ajuste_manual_4)

# Parámetros estimados
mu <- 0.07590486
sigma <- 0.06715504

```

```

xi <- -0.03278123

# Definir la función de densidad de probabilidad de la GEV
gev_pdf <- function(x, mu, sigma, xi) {
  term1 <- (1 / sigma)
  term2 <- (1 + xi * ((x - mu) / sigma))(-1 / xi - 1)
  term3 <- exp(-(1 + xi * ((x - mu) / sigma))(-1 / xi))
  return(term1 * term2 * term3)
}

# Generar valores x para la gráfica
x_values <- seq(from = mu - 3 * sigma, to = mu + 3 * sigma, by = 0.01)

# Calcular los valores y usando la función de densidad de probabilidad
y_values <- gev_pdf(x_values, mu, sigma, xi)

# Crear el gráfico
ggplot() +
  geom_line(aes(x = x_values, y = y_values), color = "blue", size = 1) +
  labs(title = "Distribución de Valores Extremos Generalizada (GEV)",
        x = "Valores",
        y = "Densidad de Probabilidad")

#Severidad

plotdist(Datos$Severidad, histo=TRUE, demp=TRUE)
descdist(Datos$Severidad)

#Función de distribución Severidad
modelo_evt_s <- fevd(Datos$Severidad)
summary(modelo_evt_s)

```

```

# Distribuciones distintas
ajuste_log <- fitdist(Datos$Severidad, "lnorm")

# Ajustar a distribución de Pareto
ajuste_pareto <- fitdist(Datos$Severidad, "pareto")

# Ajustar a distribución Weibull
ajuste_weibull <- fitdist(Datos$Severidad, "weibull")

# Ajustar a distribución
ajuste_llogis <- fitdist(Datos$Severidad, "llogis")

# Ver los resultados de los ajustes
summary(ajuste_log)
summary(ajuste_pareto)
summary(ajuste_weibull)
summary(ajuste_llogis)

#Gráfica
#Parametros de la función
mu<- 582373.3904946
sigma <- 552048.6395645
xi <- 0.5322588

# Definir la función de densidad de probabilidad de la GEV
gev_pdf <- function(x, mu, sigma, xi) {
  term1 <- (1 / sigma)
  term2 <- (1 + xi * ((x - mu) / sigma))(-1 / xi - 1)
  term3 <- exp(-(1 + xi * ((x - mu) / sigma))(-1 / xi))
  return(term1 * term2 * term3)
}

```

```

# Generar valores x para la gráfica
x_values <- seq(from = mu - 3 * sigma, to = mu + 3 * sigma, by = 0.01)

# Calcular los valores y usando la función de densidad de probabilidad
y_values <- gev_pdf(x_values, mu, sigma, xi)

# Crear el gráfico
ggplot() +
  geom_line(aes(x = x_values, y = y_values), color = "blue", size = 1) +
  labs(title = "Distribución de Valores Extremos Generalizada (GEV)",
        x = "Valores",
        y = "Densidad de Probabilidad")

# Simulación de montecarlo

# Parámetros para la simulación
n_simulaciones <- 10000

# Función de densidad de probabilidad de la GEV para severidad
mu <- 582373.3904946
sigma <- 552048.6395645
xi <- 0.5322588

gev_pdf_severidad <- function(x) {
  term1 <- (1 / sigma)
  term2 <- (1 + xi * ((x - mu) / sigma))(-1 / xi - 1)
  term3 <- exp(- (1 + xi * ((x - mu) / sigma))(-1 / xi))

  return(term1 * term2 * term3)
}

# Función de densidad de probabilidad de la GEV para frecuencia

```

```

muf <- 0.07590486
sigmaf <- 0.06715504
xif <- -0.03278123

gev_pdf_frecuencia <- function(x) {
  term1 <- (1 / sigmaf)
  term2 <- (1 + xif * ((x - muf) / sigmaf))(-1 / xif - 1)
  term3 <- exp(- (1 + xif * ((x - muf) / sigmaf))(-1 / xif))

  return(term1 * term2 * term3)
}

# Realizar el análisis de Monte Carlo conjunto
set.seed(123)

# Generar cuantiles uniformes
u_severidad <- runif(n_simulaciones)
u_frecuencia <- runif(n_simulaciones)

# Aplicar la transformación de cuantiles inversa para obtener variables
aleatorias
severidad_simulada <- qgev(u_severidad, xi = xif, mu = muf)
frecuencia_simulada <- qgev(u_frecuencia, xi = xif, mu = muf)

# Calcular el monto total de pérdidas
monto_total_pérdidas <- severidad_simulada * frecuencia_simulada

# Visualizar los resultados
par(mfrow = c(2, 2))
hist(severidad_simulada, main = "Histograma de Severidad Simulada", col =
"blue", breaks = 20)

```

```

hist(frecuencia_simulada, main = "Histograma de Frecuencia Simulada", col =
"green", breaks = 20)
hist(monto_total_pérdidas, main = "Histograma de Pérdidas Totales
Simuladas", col = "purple", breaks = 20)

mtp<-as.data.frame(monto_total_pérdidas)
summary(mtp)

resultados<-data.frame(Columna1 = frecuencia_simulada, Columna2 =
severidad_simulada, Columna3 = monto_total_pérdidas)
colnames(resultados)<-c("frecuencia_simulada", "severidad_simulada",
"monto_total_pérdidas")

# Pérdidas por MonteCarlo
total_reclamaciones_simuladas <-monto_total_pérdidas

# Definir los percentiles deseados para los límites de retención
percentiles <- c(0.4,0.5,0.6,0.75,0.80,0.90, 0.95, 0.99)

# Calcular los límites de retención basados en los percentiles
limites_retencion <- quantile(total_reclamaciones_simuladas, percentiles)

# Mostrar los resultados
cat("Límites de Retención:\n")
for (i in seq_along(percentiles)) {
  cat(sprintf("Percentil %.2f: %.2f\n", percentiles[i], limites_retencion[i]))
}

#Análisis de diferentes retenciones

# Parámetros para el análisis de Monte Carlo
n_simulaciones <- length(monto_total_pérdidas)

```



```

limites_retencion <- limites_retencion

# Inicializar vectores para almacenar resultados
var_por_limite <- numeric(length(limites_retencion))
cvar_por_limite <- numeric(length(limites_retencion))

# Calcular VaR y CVaR para cada escenario
for (i in seq_along(limites_retencion)) {
  limite <- limites_retencion[i]

  # Calcular VaR y CVaR para el escenario actual
  var_por_limite[i] <- quantile(monto_total_pérdidas, 1 - (limite /
sum(monto_total_pérdidas)))
  cvar_por_limite[i] <- mean(monto_total_pérdidas[monto_total_pérdidas >=
var_por_limite[i]])
}
lim<-data.frame(Columna1 = limites_retencion, Columna2 = var_por_limite,
Columna3 = cvar_por_limite)
colnames(lim)<-c("limites_retencion","var_por_limite","cvar_por_limite")

# Visualizar resultados
plot(limites_retencion, var_por_limite, type = "l", col = "blue", xlab = "Límite de
Retención", ylab = "VaR y CVar")
lines(limites_retencion, cvar_por_limite, col = "red")
legend("topright", legend = c("VaR", "CVaR"), col = c("blue", "red"), lty = 1)

```