Máster en Ciencias Actuariales y Financieras

# TRABAJO FINAL DE MÁSTER

**Título: Reaseguro vida: Análisis estratégico de la política de reaseguro sobre una cartera real de seguros.**

**Autoría: Albert Ballarin Baño**

**Tutoría: Javier Sarrasí Vizcarra**

**Curso académico: [2021-2022]**

Universitat de Barcelona
Facultat d'Economia i Empresa

Màster de Ciències Actuarials i Financeres

Facultad de Economía y Empresa

Universidad de Barcelona

Trabajo Final de Máster

Máster en Ciencias Actuariales y Financieras

# Reaseguro vida: Análisis estratégico de la política de reaseguro sobre una cartera real de seguros.

Autoría: Albert Ballarin Baño

Tutoría: Javier Sarrasí Vizcarra

# RESUMEN

La creciente evolución del mercado reasegurador español, le ha propiciado unas cifras más significatives dentro del sector asegurador, así como en el conjunto de la economía nacional. Dentro de este contexto, en el presente trabajo se aborda la función del reaseguro como mitigador del capital en riesgo. Se estudiarán las diferentes aplicaciones del reaseguro para las entidades aseguradoras en el ramo de vida, en concreto, para una cartera real (modificada) de seguros Temporales Anuales Renovables de una entidad aseguradora reconocida a nivel nacional. Posteriormente, se relacionarán los resultados obtenidos con la Teoría Individual del Riesgo, para cada modelo.



**Palabras clave:** Reaseguro, Cuota parte, Excedentes, Excess-Loss, Solvencia.



# SUMMARY

The growing evolution of the reinsurance market in Spain in the last five years, has given it a more important position within the insurance sector, as well as in the national economy as a whole. In this context, this paper analyzes the function of reinsurance as a mitigator of the capital at risk of insurance companies in the life business. Different applications of reinsurance will be studied in a modified real portfolio of Temporary Annual Renewable insurance of a real entity with national recognition. Subsequently, the results obtained will be related with the Individual Risk Theory for each model.



**Keywords:** Reinsurance, Quota share, Surplus, Excess-Loss, Solvency.

ÍNDICE

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. PRESENTACIÓN

En el año 2020 se cedió un volumen de primas de reaseguro de 11,683 millones de euros en España según la Publicación del Informe de Seguros y Fondos de Pensiones 2020 de la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones. Acorde con estos datos, se deduce que, el sector reasegurador, es un sector muy potente y que mueve una cantidad muy importante de capital y de riqueza para un país.

El reaseguro, es una herramienta que disponen las empresas aseguradoras para mitigar el capital de riesgo y protegerse en términos de solvencia en el nuevo marco regulatorio de Solvencia II. Éste, ha ido siempre de la mano del seguro, ya desde el nacimiento de las entidades aseguradoras constan contratos de reaseguro que se han ido desarrollando a través de los años.

Profundizar y descubrir un sector de tales magnitudes y con tantos años de historia ha sido una de las principales motivaciones que despertó mi interés en realizar este trabajo. Con el fin de querer adentrarme de lleno en el sector, se ha tratado de analizar una cartera de seguros de vida Temporales Anuales Renovables (T.A.R) desde el punto de vista del sector reasegurador.

## 1.2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es la de tarificar las primas de reaseguro según los modelos proporcionales: Cuota-Parte y Excedentes, con diferentes condiciones de contratación para una cartera de seguros temporales anuales renovables.

Con la implementación de la nueva Directiva de Solvencia II, las entidades aseguradora y reaseguradoras deben ajustarse a unos parámetros de solvencia muy específicos que son requeridos por el regulador, es por eso por lo que otro de los objetivos de esta tesis es, relacionar las distintas variables adyacentes a los diferentes modelos de reaseguro con la probabilidad de solvencia de la entidad cedente.

Por último, se ha tratado de modelizar un nuevo programa de reaseguro derivado del modelo Excess-Loss que tiene como principal objetivo, mitigar los posibles riesgos de incurrir en pérdidas mayores de las esperadas producidas por gastos extraordinarios derivados de los procesos judiciales que acarrean los siniestros de pólizas del ramo de vida.

## 1.3. METODOLOGÍA

El presente trabajo ha recopilado y analizado datos reales de una cartera de seguros temporales anuales renovables, de una importante compañía de seguros a nivel nacional que han sido modificados bajo la supervisión de un responsable para respetar las políticas de confidencialidad de ésta.

Se ha presentado el contexto del sector reasegurador en España en los últimos cinco años y se han introducido de forma teórica los diferentes modelos de reaseguro que se aplicarán en el caso práctico de esta tesis.

Para la evaluación cuantitativa de los datos recopilado que se ha empleado en el caso práctico, se han importado las bases de datos al software libre R (R Development Core Team 2022) con el fin de facilitar la manipulación de estas, pues se trata de bases de datos muy extensas y de muchos registros. El paquete empleado para el tratamiento de los datos dentro del software libre R Commander ha sido el llamado "data.table" que permite una manipulación muy intuitiva y simple de bases de datos.

# 2. MARCO TEÓRICO: REASEGURO

Las compañías de seguros disponen de una herramienta para homogeneizar su cartera de seguros en los ramos, tanto de vida como de no vida. La predicción de la siniestralidad de las aseguradoras puede verse desviada por fluctuaciones inesperadas, ya sea por la cantidad o por la cuantía, por lo que uno de los objetivos principales de las empresas es minimizar el choque de dichas desviaciones en sus carteras.

Esta herramienta se llama reaseguro, que *Ramella, M. (2017)* define como: "*un acuerdo entre dos partes, el asegurador y reasegurador, para proteger a la compañía de seguros contra una parte de su riesgo a cambio de una prima*.

Otra definición interesante sobre el concepto del reaseguro fue escrita por *De Morí, B. (1936)* que lo definía como: *"el reaseguro fue considerado como una especulación y un método para remediar un acto imprudente en el momento de suscribir un riesgo; el asegurador y en particular el asegurador marítimo -sin afectar su obligación para con el asegurado-, a su vez tomaba medidas para protegerse contra las mismas obligaciones, total o parcialmente, con otro asegurador mejor informado o con mayores posibilidades financieras".*

Más allá de proteger una cartera ante contingencias inesperadas o importes de siniestros que superan las expectativas, el reaseguro tiene otras funciones. Al reducir el riesgo de la empresa cedente (compañía aseguradora que transfiere el riesgo), ésta tendrá una mayor capacidad de suscripción y por lo tanto permite una mayor perspectiva de crecimiento en el negocio.

Otra de las ventajas que acarrea un contrato de reaseguro, es la de ampliar las líneas de negocio, la entidad reaseguradora puede aportar experiencia a la empresa cedente en un cierto ramo donde ésta no ha operado nunca. La empresa reaseguradora dispone de datos históricos de siniestralidad que pueden ayudar, en el periodo de iniciación de un determinado ramo, a la empresa cedente.

## 2.1. REASEGURO EN ESPAÑA

Para situar el contexto del sector estudiado, se analiza la evolución del volumen de primas cedidas por parte de compañías aseguradoras españolas y el destino de esta cesión.

En el Cuadro 1, se muestra la evolución de las primas del reaseguro cedido por compañías de seguro españolas en millones de euros. Esta evolución ha sido creciente, con diferente ritmo de crecimiento interanual, en 2018 las primas de reaseguro experimentaron un crecimiento muy significativo del 11,01% en cambio, en el ejercicio 2019 el crecimiento no llegó al 1%.

*Cuadro 1. Evolución de primas de reaseguro cedido por compañías españolas*

| **Reaseguro cedido** | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|---|---|---|---|---|---|
| Ramo de Vida | 881 | 859 | 835 | 797 | 3830 |
| Crecimiento | | -2,50% | -2,79% | -4,55% | 380,55% |
| Ramos No Vida | 6168 | 6348 | 7168 | 7274 | 7853 |
| Crecimiento | | 2,92% | 12,92% | 1,48% | 7,96% |
| Total reaseguro cedido | 7049 | 7207 | 8004 | 8072 | 11683 |
| Crecimiento | | 2,24% | 11,06% | 0,85% | 44,73% |

*Fuente: Publicación del Informe de Seguros y Fondos de Pensiones 2020 – DGSFP*

El dato más impactante des esta evolución sucede en 2020 donde, las primas cedidas, han experimentado un aumento del 45% que, según el informe anual del Servicio de Estudios de Nacional de Reaseguros, ha sido provocado por una importante cesión de vida de una compañía española a su entidad matriz fuera de España, por lo que los datos de 2020 se ven distorsionados.

En el cuadro 2, se observa el destino de las primas cedidas por parte de las compañías españolas. Al tratarse de contratos mayoritariamente anuales, vemos como el reparto durante los últimos cinco años no es favorable para una zona u otra. En el año 2016 la balanza caía en el peso de las compañías del territorio español que se llevaban el 52% de las primas cedidas, pero durante los años 2017, 2018 y 2019, las compañías de reaseguro extranjeras ganaron un peso importante en el mercado reasegurador español y pasaron a significar entorno a un 60% sobre las primas totales cedidas. Como hemos comentado anteriormente, los datos del año 2020 se ven distorsionados por una fuerte cesión de primas de una compañía a su empresa matriz que capitaliza fuera de España.

*Cuadro 2. Destino de la cesión del reaseguro en España*

| **Destino de cesión** | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|---|---|---|---|---|---|
| Entidades Extranjeras | 3384 | 4396 | 4802 | 4520 | 8996 |
| Porcentaje respecto total | 48,01% | 61,00% | 60,00% | 56,00% | 77,00% |
| Entidades Españolas | 3665 | 2811 | 3201 | 3552 | 2687 |
| Porcentaje respecto total | 51,99% | 39,00% | 39,99% | 44,00% | 23,00% |

*Fuente: Publicación del Informe de Seguros y Fondos de Pensiones 2020 – DGSFP*

## 2.2. CRITERIOS DE CLASIFICACION DE REASEGURO

Una propiedad muy importante del reaseguro es la extraordinaria variedad de sus operaciones, es decir, es muy difícil encontrar un contrato de reaseguro con las mismas condiciones idénticas. Aun así, podemos distinguir, de forma general, diferentes tipos de contratos de reaseguro en base a dos grandes criterios de clasificación:

Según *Hernando de Larramendi, I. (2007)* el reaseguro se puede clasificar según los siguientes criterios.

### 2.2.1. Criterio jurídico

Obligatorio: Se trata de esos contratos de reaseguro donde, tanto la aceptación como la cesión, una vez formalizado, son de cumplimiento obligatorio.

Facultativo: Se trata de esos contratos de reaseguro donde no hay obligación ni de aceptar por parte de la compañía reaseguradora ni de ceder por parte de la entidad cedente. Estos casos, han de ser comunicados individualmente, estableciéndose para cada caso concreto las condiciones que han de regular la cesión y la aceptación, es decir, son contratos que se revisan póliza por póliza y que se establecen para cubrir aquellas pólizas que no quedan cubiertas con el contrato obligatorio.

Mixto: Es una combinación de los anteriores métodos, en el caso de los reaseguros obligatorios-facultativos, el asegurador tiene la obligación de ceder y el reasegurador tiene el derecho de poder aceptarlo o no. Por otro lado, en los contratos facultativos-obligatorios, la aseguradora tiene la opción de ceder o no, mientras que el reasegurador tiene la obligación de aceptar los riesgos que le cedan.

### 2.2.2. Criterio técnico

Proporcional: El reaseguro proporcional se caracteriza, como su nombre bien indica, por la participación proporcional sobre la suma asegurada y, en consecuencia, sobre la prima y pagando en la misma proporción los siniestros de un contrato de seguros determinado. Existen dos-tipos de reaseguro proporcional: cuota-parte y excedentes.

No proporcional: El reaseguro no proporcional o reaseguro de siniestros se basa en la cobertura de una parte del siniestro o de una parte del total de siniestros de una cartera.

El reasegurador asume los excedentes de los costes de los siniestros respecto a una prioridad fijada en el contrato. Existen dos tipos de reaseguro no proporcional: exceso de perdidas (Excess-Loss) o exceso de siniestralidad (Stop-Loss).

## 2.3. REASEGURO EN EL RAMO DE VIDA

Todos los contenidos descritos en este apartado has sido extradidos de *Sarrasí, F.J. (2003).*

A diferencia del ramo de No Vida, en este ramo nos podemos encontrar con operaciones a medio y largo plazo, es decir operaciones que superen el año de vigencia del contrato.

Para esta tipología de seguros, las compañías utilizan primas niveladas que distribuyen el riesgo a lo largo del plazo proyectado. Por lo tanto, esta casuística origina la acumulación de provisiones cada año por parte de las aseguradoras.

Las bases técnicas utilizadas en los ramos de vida se basan en tablas de mortalidad que se dividen en dos tipos: las PASEM/F 2020 que son las tablas utilizadas para operaciones de seguros y las PERM/F 2020 que son las utilizadas para operaciones de rentas. Estas tablas, están publicadas en la *"Resolución de 17 de diciembre de 2020, de la Dirección*

*General de Seguros y Fondos de Pensiones"*. Cabe destacar que, las tablas PERM/F 2020 son generacionales, es decir, no solo se ven afectadas por la edad o el sexo, sino que también por el año de nacimiento.

El reaseguro relativo a este ramo de operaciones de seguros tiene como principal meta suministrar protección frente a casos donde las indemnizaciones reales y las previstas presentan desviaciones inesperadas. Estas desviaciones pueden darse por una contingencia de gran magnitud que no es frecuente o por fluctuaciones de la siniestralidad debido al reducido número de asegurados o debido a un mal año donde las perspectivas no se cumplen.

Los riesgos que cubre el reaseguro de vida son:

- Riesgo de muerte prematura: riesgo de fallecimiento de un asegurado antes de la edad de muerte estimada. Tiene lugar en las operaciones de seguros.

- Riesgo de longevidad: riesgo de que los asegurados de la cartera vivan más de lo esperado, la cual cosa se traduce en una subestimación de las provisiones. Tiene lugar en las operaciones de rentas.

- Otros tipos de riesgo: como pueden ser, la invalidez, accidentes o la dependencia.

### 2.3.1. REASEGURO PROPORCIONAL

En los reaseguros en contratos de vida bajo las reglas proporcionales, la cuantía de la responsabilidad que recae sobre el reasegurador respecto al siniestro de una póliza en concreto se mide a través de la proporción entre prima cedida y la prima total del contrato.

Las modalidades más importantes dentro del reaseguro proporcional en el ramo de vida son:

- Reaseguro a condiciones originales
- Reaseguro a prima de riesgo.

#### *Reaseguro a condiciones originales*

Esta modalidad de contrato de reaseguro puede realizarse de forma facultativa u obligatoria, y puede funcionar como un reaseguro cuota-parte o de excedentes. La compañía reaseguradora acepta la responsabilidad de la parte pactada de un seguro con la compañía cedente a cambio de la recepción de la parte proporcional de la prima. Con este método el reasegurador se ve obligado a constituir las provisiones correspondientes y proporcionales a las cuantías cedidas.

- *CUOTA-PARTE:* consiste en la transferencia, por parte de la cedente al reasegurador, de un coeficiente preestablecido ($k$) de toda la cartera o de un determinado ramo de esta; este coeficiente sirve asimismo para determinar la participación del reaseguro en el capital asegurado, en las indemnizaciones, en la prima, en los gastos y en la constitución de reservas. En este caso, el parámetro $k$

$(0 < k < 1)$ indica la cuota de retención por parte de la cedente en tanto por uno y es una constante y siempre vendrá prefijado en el mismo contrato de reaseguro.

Por otra parte, *1- k* es la cuota de cesión a la compañía reaseguradora.

La proporción $k$ se mantendrá tanto en la suma asegurada como en la prima contratada en el seguro directo como en el siniestro, por tanto, se dan las siguientes relaciones:

- Suma asegurada a cargo de la cedente: $S_C = S * k$
- Suma asegurada a cargo de la reaseguradora: $S_R = S * (1 - k)$
- Coste del siniestro a cargo de la cedente: $x_C = k * x$
- Coste del siniestro a cargo de la reaseguradora: $x_R = x * (1 - k)$
- Prima pura cobrada por parte de la cedente: $P_C = P * k$
- Prima pura cobrada por parte de la reaseguradora: $P_R = P * (1 - k)$

Gracias a las expresiones anteriores obtenemos que:

$$k = \frac{S_C}{S} = \frac{x_C}{x} = \frac{P_C}{P}$$

$$1 - k = \frac{S_R}{S} = \frac{x_R}{x} = \frac{P_R}{P}$$

- *EXCEDENTES:* constituye una fórmula de reaseguro proporcional donde el reasegurador acepta cierta participación en un riesgo, cobrando una proporción equivalente de las primas e indemnizando de los siniestros en esa misma proporción. Esa proporción a diferencia del reaseguro cuota-parte, viene definida por la relación entre la suma asegurada de la póliza y el pleno de retención fijado por la compañía de seguros, el cual se define como la suma asegurada máxima a retener por póliza.

  La cuota de retención se obtiene con la siguiente formulación:

$$k = \begin{cases} 1, & S \leq M \\ \frac{M}{S}, & S > M \end{cases}$$

$$1 - k = \begin{cases} 0, & S \leq M \\ 1 - \frac{M}{S}, & S > M \end{cases}$$

  Siendo M el pleno de retención y S la suma asegurada.

Igual que en el cuota parte, esta proporción se mantendrá tanto en la suma asegurada como en la prima contratada en el seguro directo como en el siniestro, por lo que la suma asegurada a cargo de la compañía cedente se define como $S_C = S * k$:

$$S_C = \begin{cases} S, & S \leq M \\ M, & S > M \end{cases}$$

La suma asegurada que asume la compañía reaseguradora: $S_R = S * (1 - k)$

$$S_R = \begin{cases} 0, & S \leq M \\ S - M, & S > M \end{cases}$$

La prima pura retenida por la cedente es: $P_C = P * k$

$$P_C = \begin{cases} P, & S \leq M \\ \dfrac{M}{S} * P, & S > M \end{cases}$$

La prima pura cobrada por parte de la reaseguradora es: $P_R = P * (1 - k)$

$$P_R = \begin{cases} 0, & S \leq M \\ \dfrac{S - M}{S} * P, & S > M \end{cases}$$

El siniestro a pagar por parte de la compañía cedente es: $x_C = k * x$

$$x_C = \begin{cases} x, & S \leq M \\ \dfrac{M}{S} * x, & S > M \end{cases}$$

El siniestro a pagar por parte de la reaseguradora es: $x_R = x * (1 - k)$

$$x_R = \begin{cases} 0, & S \leq M \\ \dfrac{S - M}{S} * x, & S > M \end{cases}$$

### *Reaseguro a prima de riesgo*

Esta metodología ha sido formulada para cubrir el riesgo de muerte anual al que está expuesto la cedente en las operaciones de seguros. Dentro de este podemos distinguir dos modalidades:

- *REASEGURO DE CAPITAL EN RIESGO A PRIMA DE RIESGO*: esta modalidad solo debe aplicarse en aquellos seguros cuya vigencia superen el año y por lo tanto se deban dotar provisiones matemáticas.

  La prima de reaseguro se recalcula periódicamente, teniendo en cuenta el capital reasegurado en cada uno de los periodos (normalmente años) que comprende el contrato. Este capital reasegurado $C_t^R$ en el periodo "t", se calcula multiplicando la cuota de cesión por el capital en riesgo $C_t^{Riesgo}$ en el periodo "t":

$$C_t^R = (1-k) \cdot C_t^{Riesgo}$$

Donde $k$ es la cuota de retención, es decir el porcentaje del capital asegurado que retiene la entidad cedente en tanto por uno.

Este capital en riesgo en el periodo "t", resulta de restar la suma asegurada de cada póliza $S_t$ , de las provisiones matemáticas $V_t$ de esa póliza:

$$C_t^{Riesgo} = S_t - V_t$$

Una vez determinado el capital reasegurado, la prima de reaseguro en el periodo "t" satisfecha al inicio de dicho periodo (momento t-1), se determina multiplicando el capital reasegurado del periodo "t" por la probabilidad de fallecimiento en dicho periodo de la persona asegurada, actualizado todo al tipo de interés técnico:

$$P_t^R = C_t^R \cdot q_{x+t-1} \cdot (1+I_1)^{-1/2}$$

En el cálculo de esta prima se asume la hipótesis de distribución uniforme de la mortalidad dentro del año.

En esta modalidad de reaseguro el reasegurador no tiene que dotar provisiones matemáticas.

- *REASEGURO CUOTA PARTE Y DE EXCEDENTES DE SUMAS A PRIMAS DE RIESGO*: estas modalidades se aplican para operaciones de seguros anuales y renovables cada año y por tanto no habrá que dotar provisiones matemáticas. Solo se deberán de provisionar las PPNC (provisiones para primas no consumidas) si la póliza no se contrata al inicio del ejercicio.

  En el caso de un contrato de reaseguro cuota-parte, el capital reasegurado se obtiene de:

$$C^R = (1-k) \cdot S$$

  Donde S es la suma asegurada y "k" es la cuota de retención de la cedente en tanto por uno.

  En el caso de un contrato de reaseguro de excedentes, el capital reasegurado se obtiene de:

$$C^R = \begin{cases} 0, & S \leq M \\ S-M, & S > M \end{cases}$$

  Siendo "M" es el pleno de retención y "S" la suma asegurada.

La prima del reaseguro se calcula como el producto del capital reasegurado por un coeficiente en tanto por uno ($h$), aplicado sobre las tablas usadas por el reasegurador y el tanto efectivo anual.

$$P^R = C^R \cdot h \cdot q_x^* \cdot v^{1/2}$$

Donde $v^{1/2}$ es el factor de actualización financiero donde el tanto efectivo anual $I_1$ se negociará en el contrato de reaseguro.

$$v^{1/2} = (1 + I_1)^{-0.5}$$

El factor de actualización se justifica por la hipótesis de distribución uniforme de la mortalidad del asegurado dentro del año.

El coeficiente ($h$) aplicado sobre las tablas de mortalidad que aplica el reasegurador, se incluye para mitigar el beneficio en la mortalidad que obtienen las aseguradoras en el seguro directo. Este coeficiente, que es totalmente negociable, suele estar entre el 0.8 y el 1 y su existencia es debido a que las tablas utilizadas suelen estar recargadas.

### 2.3.2. REASEGURO NO PROPORCIONAL

El reaseguro no proporcional consiste en la fijación de un importe máximo denominado prioridad, el cual la compañía cedente está dispuesto a asumir por siniestro o por siniestralidad total de una cartera, y todo aquel monto que supere dicha cantidad será asumido por el reasegurador si éste tiene responsabilidad ilimitada.

Los dos principales tipos de reaseguro no proporcional en el ramo de vida son:

*Reaseguro de Excess-Loss*

Este contrato de reaseguro protege al asegurador de posibles pérdidas acumuladas de siniestros causados por un evento que afecta a un número determinado de vidas. En el contrato de reaseguro se determina el número mínimo de fallecidos que debe de haber en el evento para que actúe el reasegurador.

La cantidad máxima que la compañía de seguros está dispuesta a retener, en caso de siniestro sobre un mismo riesgo según ciertas circunstancias se denomina prioridad. Lo habitual es que la responsabilidad del reasegurador por siniestros esté limitada, el importe máximo que el reasegurador está dispuesto a cubrir por siniestro se define como tramo working.

Supongamos el caso de un siniestro en que las condiciones de contratación hacen que el reaseguro se active, consideramos que en el contrato entran dos empresas reaseguradoras, la primera de ellas con responsabilidad limitada se hace cargo del exceso de cada siniestro respecto a $M_1$ hasta el límite $M_2$ por tanto su tramo working es $M_2 - M_1$ y la segunda asume una responsabilidad ilimitada a partir de la cantidad $M_2$. La prioridad de la compañía cedente en este caso es se define como-$M_1$. Entonces el coste del siniestro se reparte de la siguiente manera:

- Coste del siniestro a cargo de la cedente:

$$x_C = \begin{cases} x, & x < M_1 \\ M_1, & x \geq M_1 \end{cases}$$

- Coste del siniestro a cargo de la primera compañía reaseguradora:

$$x_{R1} = \begin{cases} 0 \quad , & x < M_1 \\ x - M_1, & M_1 \leq x < M_2 \\ M_2 - M_1, & x \geq M_2 \end{cases}$$

- Coste del siniestro a cargo de la segunda compañía reaseguradora:

$$x_{R2} = \begin{cases} 0, & x < M_2 \\ x - M_2, & x \geq M_2 \end{cases}$$

En el mercado la forma de establecer una cobertura XL sigue la siguiente notación: *tramo working xs prioridad.*

Ejemplo: Se contrata un reaseguro Excess-Loss donde la compañía cedente está dispuesta a asumir como máximo 100,000€ (prioridad) por cada siniestro que cumpla con las condiciones de contratación acordadas a priori, y la compañía reaseguradora se hará cargo de aquellos siniestros que superen dicha prioridad hasta un límite de 150,000€. La nomenclatura en este caso en concreto se definiría con la siguiente expresión:

*150,000€ xs 100,000€*

La cedente elige contratar este tipo de modalidad para protegerse de cúmulos de riesgo en vida, por lo que, si contamos con un contrato de reaseguro Excess-Loss que cubre la muerte accidental en nuestra cartera, no será lo mismo que fallezcan 10 personas en 10 accidentes diferentes que 10 personas en un accidente.

Ejemplo XL: Supongamos un contrato de reaseguro XL de 450.000 xs 150.000 que cubre el fallecimiento por causa de un accidente cuando este cause la muerte de tres o más asegurados. Supongamos también, que el capital asegurado en caso de fallecimiento es de 100.000€ por cada asegurado:

*Ejemplo 1: Ejemplo ilustrativo contrato de reaseguro Excess-Loss*

| | |
|---|---|
| **Capital asegurado** | 100,000.00 € |
| **Contrato** | 450,000 xs 150,000 |
| **Cobertura** | 3 o más fallecidos por accidente |

| | CASO 1 | CASO 2 |
|---|---|---|
| Núm. Siniestros | 2 | 1 |
| Núm. Fallecidos por siniestro | 2 | 4 |
| Total pagos siniestro | 400,000.00 € | 400,000.00 € |
| Siniestro a cargo de la cedente | 400,000.00 € | 150,000.00 € |
| Siniestro a cargo del reasegurador | - € | 250,000.00 € |
| Siniestro residual | - € | - € |

*Fuente: Elaboración propia*

En el caso 1 no actúa el reaseguro, ya que éste actúa sólo en aquellos siniestros cuyo número de fallecidos sea como mínimo de tres.

En este ejemplo podemos observar cómo, aunque el número de fallecidos son los mismos, la compañía cedente se ahorra 250.000€ gracias a la cobertura del contrato XL por accidente.

Este tipo de contrato de reaseguro se caracterizan por tener una duración de un año, aunque puede haber casos excepcionales que superen este periodo o incluso se puede contratar para un evento determinado.

### *Reaseguro Stop-Loss*

Este tipo de contrato de reaseguro tiene como principal objetivo estabilizar la siniestralidad y los resultados. Este tipo de reaseguro es muy adecuado para proteger a la compañía de contra fluctuaciones inesperadas y transitorias.

El reasegurador acepta la responsabilidad de pago de todos los siniestros agregados que superan el importe pactado en el año en curso. Este importe pactado es la prioridad y normalmente está sujeto a un límite máximo. La responsabilidad del pago de todos los siniestros agregados por parte del reasegurador suele estar limitada en el contrato y su importe constituye el tramo working. La notación utilizada para este tipo de contrato no proporcional es la misma que en el contrato XL: *tramo working xs prioridad.*

Supongamos el caso de un contrato de reaseguro Stop-Loss, en el que participan dos empresas reaseguradoras, la primera tiene responsabilidad limitada y se hace cargo del exceso de siniestralidad respecto a $M_1$ hasta el límite $M_2$, por tanto su tramo working es $M_2 - M_1$ y la segunda asume una responsabilidad ilimitada a partir de $M_2$. La prioridad de la compañía cedente en este caso es se define como $M_1$. Entonces el coste de la siniestralidad $S$ se reparte de la siguiente manera:

- Coste de la siniestralidad cargo de la cedente:

$$S_C = \begin{cases} S, & S < M_1 \\ M_1, & S \geq M_1 \end{cases}$$

- Coste de la siniestralidad cargo del reasegurador:

$$S_R = \begin{cases} 0 \quad , & S < M_1 \\ S - M_1, & M_1 \leq S < M_2 \\ M_2 - M_1, & S \geq M_2 \end{cases}$$

Ejemplo: Se contrata un reaseguro Stop-Loss donde la compañía cedente está dispuesta a asumir como máximo 50,000€ (prioridad) respecto la siniestralidad total del ejercicio acordado a priori, y la compañía reaseguradora se hará cargo del importe que supere dicha prioridad hasta un límite de 100,000€. La nomenclatura en este caso en concreto se definiría con la siguiente expresión:

*100,000€ xs 50,000€*

Ejemplo SL: supongamos un contrato de reaseguro SL que cubre el fallecimiento accidental con unas condiciones de 100,000 xs 50,000:

*Ejemplo 2: Ejemplo ilustrativo contrato de reaseguro Stop-Loss.*

| | |
|---|---|
| Capital asegurado | 10,000.00 € |
| Contrato | 100,000 xs 50,000 |
| Cobertura | Accidente |

| Siniestros Año "t" | Número de fallecidos | Importe del siniestro |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 20,000.00 € |
| 2 | 3 | 30,000.00 € |
| 3 | 6 | 60,000.00 € |
| 4 | 4 | 40,000.00 € |
| TOTAL | | 150,000.00 € |

| Reparto siniestralidad | Importe |
|---|---|
| Cedente | 50,000.00 € |
| Reasegurador | 100,000.00 € |

*Fuente: Elaboración propia.*

Observamos como, en el caso anterior ha habido cuatro accidentes en el ejercicio en curso, en cada uno de ellos el número de fallecidos ha variado, como el reaseguro Stop-Loss cubre la siniestralidad total, una vez finalizado el ejercicio y computados todos los siniestros producidos por accidentes se reparte el importe total de los siniestros entre la prioridad (50,000€) y el tramos working (100,000€) en este caso no tendríamos siniestralidad residual, en caso de haberla la suele asumir la cedente.

*Tarificación reaseguro no proporcional:*

Las técnicas de tarificación utilizadas para el cálculo de las primas del reaseguro Excess-Loss, consisten en aplicar un porcentaje sobre las primas puras totales cobradas por la cedente en el ejercicio considerado. Como la prima de reaseguro se calcula por anticipado al inicio del ejercicio, el porcentaje se calculará sobre las primas estimadas totales de la compañía para ese ejercicio.

Cuando la cedente tiene suficiente información sobre su siniestralidad, se aplica un porcentaje variable, el cual se irá ajustando a los cambios que vaya teniendo la siniestralidad. La técnica para calcular dicho porcentaje se llama Burning Cost. Este método permite calcular y reajustar de forma regular las primas de reaseguro, adaptándolas a las variaciones de siniestralidad prevista en base a la información de la cedente. Se obtiene una relación entre los siniestros a cargo del reasegurador y las primas totales cobradas por la cedente referidas a un periodo de tiempo prefijado en el contrato, bajo la hipótesis que, en ese periodo de tiempo prefijado, hubiese estado vigente el contrato de reaseguro en cuestión.

### 2.3.3. SOLVENCIA: TEORÍA DEL RIESGO INDIVIDUAL Y REASEGURO

Uno de los objetivos principales del trabajo es aplicar la Teoría del Riesgo Individual sobre una cartera real de seguros temporales anuales renovables para determinar la relación entre la política de reaseguro y la probabilidad de solvencia de la compañía. Para ello se debe definir de forma clara la Teoría del Riesgo individual:

Todos los contenidos descritos en este apartado han sido extraidos de *Sarrasí, F.J. (2003) y Rincon, L. (2012).*

*Teoría del Riesgo Individual*

La Teoría del Riesgo Individual se caracteriza por asumir la hipótesis de normalidad de la variable aleatoria coste total de la cartera. Esta teoría contempla el riesgo total de la empresa aseguradora como el sumatorio de lo que acontece a todas las pólizas individuales que constan en la cartera. Dicha teoría asume que el número de pólizas de la cartera, n, es conocido y constante en el periodo [0; t] que suele ser el año, y que la cartera se puede dividir en k subcarteras homogéneas en cuanto al riesgo.

- Sea $e_s$ con $s = 1, \dots, k,$ un elemento o póliza asociada al subcolectivo $s$.

- Sea $n_s$ con $s = 1, \dots, k,$ el número de pólizas o elemento asociados al subcolectivo homogéneo s, y n el número total de pólizas de toda la cartera siendo $n = \sum_{s=1}^{k} n_s$.

- Sea $(x_s)$ $s = 1, \dots, k,$ la variable coste del siniestro asociada a cada una de las pólizas asociadas al subcolectivo $s$.

El objetivo de esta teoría es modelizar la distribución de la variable aleatoria coste total de la cartera, para ello se asumen tres hipótesis:

1. Todas las pólizas asociadas a un subcolectivo tienen la misma distribución de probabilidad. Por lo que la variable aleatoria coste del siniestro asociada a una póliza es la misma para todas las pólizas de dicho subcolectivo. Además, la esperanza y la varianza es conocida.

$$E[x_s] = m_s \ ; \ V[x_s] = \sigma_S^2 \quad s = 1, \dots, k$$

2. Independencia entre variables aleatorias que recogen el coste del siniestro de cada póliza del subcolectivo $s$.

3. El número de pólizas de cada subcolectivo es lo suficientemente grande que, por el Teorema Central del Límite, permite asumir la hipótesis de normalidad de la variable aleatoria coste total del subcolectivo $s$, $X_s$.

$$X_s = x_s + x_s + \cdots + x_s = n_s \cdot x_s \qquad\qquad s = 1, \dots, k$$

$$E[X_s] = n_s \cdot m_s$$

Las variables aleatorias coste del siniestro asociadas a cada una de las pólizas del subcolectivo $s$ son independientes, entonces la varianza de la suma es la suma de varianzas:

$$V[X_s] = n_s \cdot \sigma_S^2$$

Por lo tanto, tenemos que:

$$X_s \sim N(n_s \cdot m_s, n_s \cdot \sigma_S^2)$$

Por tanto, la variable aleatoria coste total de la cartera $Z$, se puede obtener como suma de las variables aleatorias coste total de cada subcolectivo:

$$Z = X_1 + X_2 + \cdots + X_k$$

Siendo su esperanza y varianza:

$$E[Z] = \sum_{s=1}^{k} n_s \cdot m_s$$

$$V[Z] = \sum_{s=1}^{k} n_s \cdot \sigma_S^2$$

Al obtenerse la variable aleatoria Z como suma de variables aleatorias normales, entonces ésta se distribuye también como una normal:

$$Z \sim N\left(\sum_{s=1}^{k} n_s \cdot m_s \, , \sum_{s=1}^{k} n_s \cdot \sigma_S^2\right)$$

### *Probabilidad de insolvencia en la Teoría del Riesgo Individual*

Siendo $z_\epsilon$ el percentil $\epsilon$ asociado a la variable aleatoria coste total de la cartera Z y $\epsilon$ la probabilidad de insolvencia, al distribuirse según normal:

$$P[Z \leq z_\in] = 1 - \in$$

A partir de esta expresión, tipificando:

$$P\left[\frac{Z - E[Z]}{D[Z]} \leq \frac{z_\in - E[Z]}{D[Z]}\right] = 1 - \in$$

$$P[T \leq t_\in] = 1 - \in$$

Siendo: $T = \frac{Z - E[Z]}{D[Z]}$, la variable aleatoria distribuida según una N(0,1)

$t_\in = \frac{z_\in - E[Z]}{D[Z]}$ (I) el percentil $\epsilon$ asociado a la variable aleatoria T.

Por otro lado, la cuantía que garantiza un nivel de solvencia de 1- $\epsilon$ se consigue sumando a la prima total recargada cobrada por la compañía, las reservas de solvencia iniciales *S*:

$$z_\in = E[Z] + \lambda \cdot E[Z] + S \qquad \text{(II)}$$

Sustituyendo $z_\in$ de la expresión (II) en (I) se obtiene:

$$t_\in \cdot D[Z] = \lambda \cdot E[Z] + S$$

Por lo que, cuando existe un contrato de reaseguro, la expresión desde el punto de vista de la cedente queda así:

$$t_\in \cdot D[Z_c] = \lambda \cdot E[Z_c] + S$$

Donde $Z_c$ es la variable aleatoria coste total de la cual se responsabiliza la empresa cedente.

<u>Definición de la variable aleatoria coste total en los seguros Temporales Anuales Renovables:</u>

La teoría descrita a continuación se ha extraído de *Castañer, A., Claramunt, M., Mármol, M. (2021-22). Asignatura de Solvencia. Máster universitario en Ciencias Actuariales y Financieras.*

Para nuestro caso en concreto, definimos nuestra variable aleatoria coste total (Z) de la siguiente forma: Expresamos las variables aleatorias $x_i$ (pérdida asociada a cada póliza i) como el producto de dos variables aleatorias:

$$x_i = B_i * I_i \quad i = 1, \dots n$$

$I_i$ es una variable aleatoria con distribución de Bernouilli, del elemento i que toma valor 1 con probabilidad de que el siniestro ocurra y 0 con probabilidad de que el siniestro no ocurra. Simbolizamos por $q_i$ a la probabilidad de que la póliza i tenga un siniestro, por lo que tenemos:

$$I_i = \begin{cases} 1, & con\ probabilidad\ q_i \\ 0, & con\ probabilidad\ 1 - q_i = p_i \end{cases}$$

En el caso de los seguros Temporales Anuales Renovables, esta variable $q_i$ coincide con las $q_x$ de las tablas de mortalidad publicadas en la *“Resolución de 17 de diciembre de 2020, de la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones”.*

$B_i$ es la suma asegurada asociada a la póliza i.

Finalmente obtenemos las siguientes expresiones sobre los estadísticos de cada variable:

- $\boldsymbol{E}[\boldsymbol{x_i}] = q_i \cdot E[B_i] = q_i \cdot B_i$
- $\boldsymbol{V}[\boldsymbol{x_i}] = q_i \cdot V[B_i] + p_i \cdot q_i \cdot E^2[B_i] = q_i \cdot p_i \cdot {B_i}^2$

Para la variable aleatoria coste total de la cartera, obtenemos las siguientes expresiones:

- $\boldsymbol{E}[\boldsymbol{Z}] = \sum_{i=1}^{n} E[x_i]$
- $\boldsymbol{V}[\boldsymbol{Z}] = \sum_{i=1}^{n} V[x_i]$

# 3. CASO PRÁCTICO

El principal objetivo de este trabajo es la de poder calcular diferentes estrategias de reaseguro para una cartera real (modificada) de seguros temporales anuales renovables con el entorno de software libre de R. A más, se modelizará dicha cartera de seguros para relacionar las diferentes estrategias de reaseguro con la probabilidad de solvencia siguiendo la teoría del riesgo individual.

A parte, se creará una nueva tipología de reaseguro no proporcional en que la compañía reaseguradora se hará cargo de aquellos siniestros que superan la suma asegurada, y por lo tanto la compañía cedente se protege de los gastos extraordinarios que pueden acarrear los siniestros de forma implícita.

Las bases de datos utilizadas para el desarrollo del caso práctico provienen de una compañía de seguros y reaseguros, y han sido modificadas, bajo la supervisión de un responsable debido a la política de confidencialidad de la empresa.

Una de las claves para el desarrollo de esta tarea es la capacidad de manipular bases de datos de gran tamaño, para ello se ha utilizado el paquete del software R: “data.table” que proporciona un nivel de eficacia muy elevado.

La mayoría de los cálculos que se desarrollan en este apartado necesitan de la presencia de las tablas de mortalidad, para ello se ha importado el workspace disponible en la asignatura Matemática del Seguro: WS tablas de mortalidad.rdata de Sarrasi Vizcarra, Javier.

## 3.1. DEFINICIÓN DEL SEGURO

El seguro de vida temporal anual renovable (TAR), es un seguro de vida que tiene como objetivo principal asegurar la protección familiar cubriendo los riesgos inherentes al ciclo vital de una persona. La duración de este tipo de contrato de seguros es de un año inicialmente, pudiéndose renovar en cada vencimiento de la póliza.

El seguro temporal anual renovable permite cubrir las necesidades económicas de una familia en caso de producirse el fallecimiento del asegurado por cualquier causa y con independencia del lugar en que ello ocurra.

En el caso que concierne a este trabajo, se consideran las siguientes condiciones generales:

- Edad máxima de contratación: 65 años cuando se trate de nueva producción, tomándose la edad actuarial como edad de referencia.

- Edad de renovación/duración: Duración límite para cobertura de fallecimiento de fallecimiento hasta la anualidad en que el asegurado cumple 75 años.

- Los gastos implícitos de los siniestros acaecidos se incluyen en el mismo siniestro.

## 3.2. CÁLCULO DE PRIMAS DE REASEGURO

En este apartado se calcularán las primas de reaseguro en la modalidad a prima de riesgo tanto en cuota parte como en excedentes de una cartera real de seguros temporales anuales renovables para los años que van del 2017 al 2021.

Antes de entrar en el cálculo, se presentan las características más relevantes de la base de datos de la cartera estudiada en este trabajo:

*Tabla 1: Información referente a la cartera real de seguros Temporales Anuales Renovables*

| Año | Número de pólizas | Edad media | Sumas aseguradas | Primas puras |
|---|---|---|---|---|
| 2017 | 49,870 | 45.45 | 5,490,676,816.00 € | 5,523,762.00 € |
| 2018 | 48,778 | 46.05 | 5,346,461,381.00 € | 5,712,022.00 € |
| 2019 | 47,732 | 46.67 | 5,217,546,742.00 € | 5,947,870.00 € |
| 2020 | 47,926 | 47.13 | 5,139,845,785.00 € | 6,189,373.00 € |
| 2021 | 46,888 | 47.77 | 4,960,821,965.00 € | 6,392,300.00 € |

*Fuente: Elaboración propia*

En este resumen de la cartera salta a la vista que, las primas puras anuales han experimentado un crecimiento interanual en cambio, las sumas aseguradas han ido en decremento a medida que pasan los años. Esto, que a priori parece una incongruencia, se ha demostrado que ha sido causado por el incremento de la edad media de la cartera que pasa de 45.45 años en 2017 a 47.77 años en 2021.

Ejemplo del cálculo de la prima pura de una póliza de la cartera escogida al azar que tiene los siguientes datos:

- Número de póliza: 12960
- Año de contratación: 2019
- Capital: 7,993.46€
- Edad: 60 años
- Tabla de mortalidad unisex: $q_x \; = \; 0.0032830920$

$$Prima\ Pura = 7{,}993.46€ \cdot 0.0032830920 = \mathbf{26.24}€$$

Las primas puras de cada una de las pólizas se tarifican usando las tablas de mortalidad unisex debido a que, el regulador no permite la discriminación por sexos en la tarificación directa con el tomador del seguro. Estas tablas obtenidas de las Pasem2020 se han calculado bajo el supuesto que la cartera está distribuida al 50% entre hombres y mujeres para cada edad.

Se asumen también que los costes asociados a la contratación del seguro son nulos puesto que el objetivo del estudio no depende de los mismos.

Las condiciones comunes del contrato de reaseguro a prima de riesgo son las siguientes:

Tarifa aplicada por el reasegurador: el 100% de las PASEM2020 de segundo orden con discriminación por sexos al tipo de interés publicado por la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones para cada uno de los años considerados.

La prima de reaseguro se obtiene de:

$$P^R = C^R \cdot h \cdot q_x^* \cdot v^{1/2} = C^R \cdot h \cdot q_x^* \cdot (1 + I_1)^{-1}$$

En nuestro caso:

- $C^R$ es el capital reasegurado y dependerá de si se aplica un cuota parte o un excedente.

- $q_x^*$ representan las probabilidades de fallecimiento de las tablas de mortalidad seleccionadas por el reasegurador para la tarificación de la prima de reaseguro. En este caso son las PASEM 2020 de segundo orden con discriminación por sexos.

- $h$ es el coeficiente aplicado a las tablas de mortalidad que en este caso será igual a 1 ya que el reasegurador aplica el 100% de las tablas.

- El tipo de interés técnico aplicado para cada año $I_1$, ha sido el tipo de interés máximo para seguros de vida que anualmente publica la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones en el Boletín Oficial del Estado:

  - 2017 → 1.09%
  - 2018 → 0.98%
  - 2019 → 0.98%
  - 2020 → 0.59%
  - 2021 → 0.54%

Todos los cálculos se han realizado con el software libre R (R Development Core Team 2022) y se encuentra en los anexos del trabajo.

### 3.2.1. REASEGURO CUOTA-PARTE

Condiciones del contrato:

- Cuota de retención de $k = 0.8$

Contrato calculado para una póliza real de la cartera escogida al azar:

Para mostrar los cálculos de una forma más simple, se escoge una póliza de la cartera al azar y a continuación, se desarrollarán los cálculos referentes al contrato de reaseguro cuota-parte:

*Tabla 2: Información correspondiente a una póliza al azar de la cartera estudiada.*

| Póliza | Sexo | Fecha contratación | Capital | Edad |
|---|---|---|---|---|
| 7572 | M | 31/12/17 | 199,836.53 € | 55 |

*Fuente: Elaboración propia*

El reparto de la responsabilidad de la suma asegurada total referente a esta póliza se distribuye según estas expresiones:

El capital reasegurado $C^R$:

$$C^R = (1 - 0.8) \cdot 199{,}836.53€ = 39{,}967.31€$$

El capital retenido por la cedente $C^C$:

$$C^C = 0.8 \cdot 199{,}836.53€ = 159{,}869.22€$$

Aplicando la fórmula del cálculo de la prima a prima de riesgo vista en el apartado anterior, obtenemos el siguiente resultado:

$$P^R = 39{,}967.31€ \cdot 1 \cdot 0.0029426964 \cdot (1 + 0.0109)^{-0.5} = \mathbf{116.97}€$$

Donde $0029426964$ es el valor $(q_x^*)$ referido a las tablas de mortalidad de un individuo masculino con una edad de 55 años y $0.0109$ es el tipo de interés en tanto por uno aplicado para el año 2017.

<u>Resultado del contrato cuota-parte aplicado a toda la cartera:</u>

En la siguiente tabla se muestran los importes de las sumas aseguradas totales de las cuales se responsabilizan tanto la entidad reaseguradora como la entidad aseguradora con el contrato definido anteriormente:

*Tabla 3: Reparto de sumas aseguradas en el contrato cuota-parte*

| AÑOS | Capital Reaseguro | Capital Retenido |
|---|---|---|
| 2017 | 1,098,135,363.00 € | 4,392,541,453.00 € |
| 2018 | 1,069,292,276.00 € | 4,277,169,105.00 € |
| 2019 | 1,043,509,348.00 € | 4,174,037,393.00 € |
| 2020 | 1,027,969,157.00 € | 4,111,876,628.00 € |
| 2021 | 992,164,393.00 € | 3,968,657,572.00 € |

*Fuente: Elaboración propia.*

A continuación, se muestran los resultados de las primas de reaseguro cuota parte para cada año, fijando un coeficiente de retención $k = 0.8$:

*Tabla 4: Primas de reaseguro con el método cuota parte*

| AÑOS | Primas Reaseguro Cuota parte |
|---|---|
| 2017 | 1,197,700.00 € |
| 2018 | 1,229,019.00 € |
| 2019 | 1,263,102.00 € |
| 2020 | 1,303,857.00 € |
| 2021 | 1,334,728.00 € |

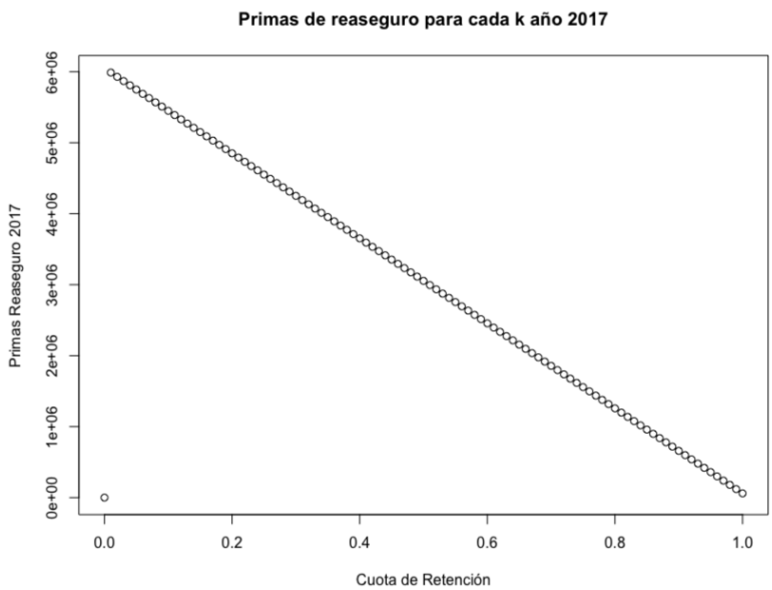
*Fuente: Elaboración propia*

Estas primas calculadas en la tabla anterior, las habrá tenido que abonar la compañía cedente a la reaseguradora al inicio de cada ejercicio. Se observa un incremento de las primas de reaseguro en todos los años de observación, esto viene provocado por el aumento de primas puras contratadas por la compañía de seguro directo, por el decremento del tipo de interés técnico aplicado a la tarificación que pasa de un 1.09% en 2017, a un 0.54% en 2021 y por el incremento en la edad media de la cartera.

Gráficos:

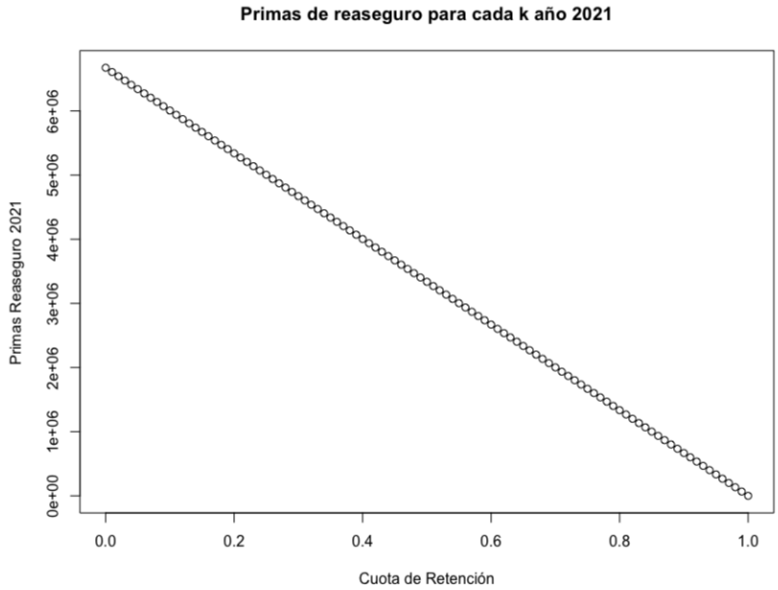
A continuación, se observan dos gráficos referentes a los años 2017 y 2021 que muestran la relación que hay entre la cuota de retención y las primas de reaseguro en un contrato cuota-parte. Se han generado cien valores diferentes del coeficiente “k” y se ha calculado para cada uno de ellos la prima de reaseguro correspondiente:

*Gráfico 1: Relación de la cuota de retención con las primas de reaseguro abonadas por parte de la cedente en 2017 en un contrato cuota-parte.*




*Fuente: Elaboración propia*

*Gráfico 2: Relación de la cuota de retención con las primas de reaseguro abonadas por parte de la cedente en 2021 en un contrato cuota parte.*




*Fuente: Elaboración propia*

En ambos gráficos se puede observar la proporcionalidad perfecta y constante de la cuota de retención con las primas de reaseguro. Éstas, decrecen de forma lineal en tanto que la cuota de retención aumenta.

Cabe destacar que en el caso de que la cuota de retención fuese cero y, por lo tanto, la compañía de seguro directo cede toda la responsabilidad de las sumas aseguradas de la cartera, se comprueba que, efectivamente, las primas de reaseguro en 2021 fueron más elevadas que en 2017.

## 3.2.2. REASEGURO DE EXCEDENTES

### *3.2.2.1. CONTRATO DE EXCEDENTES SIMPLE*

Condiciones del contrato:

- Pleno de retención $M = 125{,}000€$
- Capacidad de contrato ilimitada.

Contrato calculado para una póliza real de la cartera escogida al azar:

Para mostrar los cálculos de una forma más simple, se escoge una póliza de la cartera al azar y posteriormente, se desarrollarán los cálculos referentes al contrato de reaseguro de excedentes:

*Tabla 5: Información correspondiente a una póliza al azar de la cartera estudiada.*

| Póliza | Sexo | Fecha Nacimiento | Fecha contratación | Capital | Edad |
|---|---|---|---|---|---|
| 13951 | M | 1/12/62 | 31/12/19 | 239,803.83 € | 57 |

*Fuente: Elaboración propia*

El reparto de la responsabilidad de la suma asegurada total referente a esta póliza se calcula con las siguientes expresiones:

$$C^R = 239{,}803.83€ - 125{,}000€ = 114{,}803.83€$$

$$C^C = 125{,}000€$$

Aplicando la fórmula del cálculo de la prima a prima de riesgo vista en el apartado anterior, obtenemos el siguiente resultado:

$$P^R = 114{,}803.83€ \cdot 1 \cdot 0.0035063246 \cdot (1 + 0.0098)^{-0.5} = \mathbf{400.58}€$$

Donde $0.0035063246$ es el valor ($q_x^*$) referido a las tablas de mortalidad de un individuo masculino con una edad de 57 años y $0.0098$ es el tipo de interés en tanto por uno aplicado para el año 2019.

<u>Resultado del contrato de excedentes aplicado a toda la cartera:</u>

En la siguiente tabla se muestran los importes de las sumas aseguradas totales de las cuales se responsabilizan tanto la entidad reaseguradora como la entidad aseguradora con el contrato definido anteriormente:

*Tabla 6: Reparto de sumas aseguradas en el contrato de excedentes.*

| AÑOS | Capital Reaseguro | Capital Retenido |
|---|---|---|
| 2017 | 1,093,321,587.00 € | 4,397,355,229.00 € |
| 2018 | 1,057,688,512.00 € | 4,288,772,869.00 € |
| 2019 | 1,039,373,446.00 € | 4,178,173,296.00 € |
| 2020 | 1,001,265,903.00 € | 4,138,579,883.00 € |
| 2021 | 949,669,357.00 € | 4,011,152,608.00 € |

*Fuente: Elaboración propia*

A continuación, se muestran los resultados de las primas de reaseguro de excedentes para cada año, fijando un pleno de retención de $M = 125{,}000€$:

*Tabla 7: Primas de reaseguro con el método Excedentes*

| AÑOS | Primas Reaseguro Excedentes |
|---|---|
| 2017 | 1,153,844.00 € |
| 2018 | 1,172,068.00 € |
| 2019 | 1,215,839.00 € |
| 2020 | 1,224,437.00 € |
| 2021 | 1,242,529.00 € |

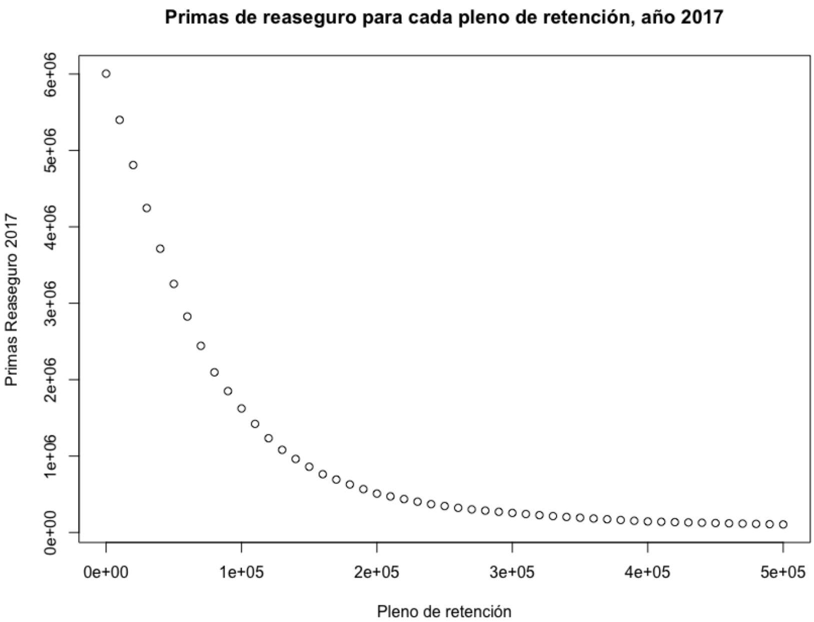
*Fuente: Elaboración propia*

Obtenemos unas primas de reaseguro similares a las calculada según el modelo de cuota-parte. Estas primas son crecientes dentro del intervalo de cinco años, este incremento viene dado por la reducción del tipo de interés técnico utilizado y por el aumento de primas puras contratadas por la aseguradora directa.

<u>Gráficos:</u>

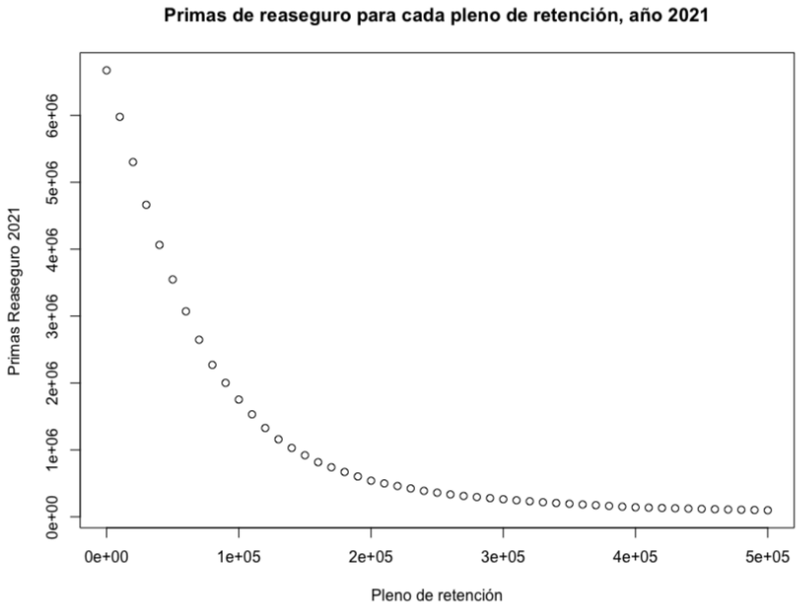
A continuación, se observan dos gráficos referentes a los años 2017 y 2021 que muestran la relación que hay entre el pleno de retención y las primas de reaseguro en un contrato de excedentes simple. Se han generado cincuenta valores diferentes de la variable "M" (pleno de retención) y se ha calculado para cada uno de ellos la prima de reaseguro correspondiente:

*Gráfico 3: Relación del pleno de retención con las primas de reaseguro abonadas por parte de la cedente en 2017 en un contrato de excedentes simple.*




*Fuente: Elaboración propia*

*Gráfico 4: Relación del pleno de retención con las primas de reaseguro abonadas por parte de la cedente en 2021 en un contrato de excedentes simple.*




*Fuente: Elaboración propia*

En este caso, se observa un decrecimiento exponencial de las primas de reaseguro a medida que el pleno de retención va aumentando. La interpretación de esta dinámica que toma el gráfico es que, prevalecen las pólizas con sumas aseguradas pequeñas ya que la sensibilidad de las primas de reaseguro cuando el pleno de retención toma valores pequeños es mucho más elevada que cuando este último toma valores más grandes.

De este mismo modo, si hubiera muchas pólizas con sumas aseguradas muy elevadas, las primas de reaseguro con un pleno de retención más alto también serían mayores, pero en este caso no sucede.

#### *3.2.2.2. CONTRATO DE EXCEDENTES CUANDO EL PLENO DE RETENCIÓN COINCIDE CON LA MEDIA DE LAS SUMAS ASEGURADAS*

<u>Condiciones del contrato:</u>

- Pleno de retención $M_t = \text{ } Suma\ asegurada\ media\ para\ el\ año\ t.$
  Siendo $t = 2017, \dots, 2021$
- Capacidad de contrato ilimitada.
- Las sumas aseguradas medias correspondientes a cada año son las siguientes:

*Tabla 8: sumas aseguradas medias correspondientes a cada año.*

| Año | Sumas aseguradas medias |
|---|---|
| 2017 | 110,099.80 € |
| 2018 | 109,608.00 € |
| 2019 | 109,309.20 € |
| 2020 | 107,245.50 € |
| 2021 | 105,801.50 € |

*Fuente: Elaboración propia*

<u>Contrato calculado para una póliza real de la cartera escogida al azar:</u>

Para mostrar los cálculos de una forma más simple, se escoge una póliza de la cartera al azar y posteriormente, se desarrollarán los cálculos referentes al contrato de reaseguro de excedentes:

*Tabla 9: Información correspondiente a una póliza al azar de la cartera estudiada.*

| Póliza | Sexo | Fecha Nacimiento | Fecha contratación | Capital | Edad |
|---|---|---|---|---|---|
| 2081301 | M | 3/5/75 | 31/12/21 | 266,000.00 € | 46 |

*Fuente: Elaboración propia*

El reparto de la responsabilidad de la suma asegurada total referente a esta póliza se calcula con las siguientes expresiones:

$$C^R = 266{,}000€ - 105{,}801.50€ = 160{,}198.50€$$

$$C^C = 105{,}801.50€$$

Aplicando la fórmula del cálculo de la prima a prima de riesgo vista en el apartado anterior, obtenemos el siguiente resultado:

$$P^R = 160{,}198.50€ \cdot 1 \cdot 0.0009302965 \cdot (1 + 0.0054)^{-0.5} = \mathbf{148.63}€$$

Donde $0.0009302965$ es el valor $(q_x^*)$ referido a las tablas de mortalidad de un individuo masculino con una edad de 46 años y $0.0054$ es el tipo de interés en tanto por uno aplicado para el año 2021.

<u>Resultado del contrato de excedentes aplicado a toda la cartera:</u>

En la siguiente tabla se muestran los importes de las sumas aseguradas totales de las cuales se responsabilizan tanto la entidad reaseguradora como la entidad aseguradora con el contrato definido anteriormente:

*Tabla 10: Reparto de sumas aseguradas en el contrato de excedentes siendo el pleno de retención la suma asegurada media para cada año.*

| AÑOS | Capital Reaseguro | Capital Retenido |
|---|---|---|
| 2017 | 1,362,440,842.00 € | 4,128,235,975.00 € |
| 2018 | 1,328,051,700.00 € | 4,018,409,681.00 € |
| 2019 | 1,305,801,203.00 € | 3,911,745,539.00 € |
| 2020 | 1,298,414,713.00 € | 3,841,431,072.00 € |
| 2021 | 1,261,786,764.00 € | 3,699,035,201.00 € |

*Fuente: Elaboración propia*

A continuación, se muestran los resultados de las primas de reaseguro de excedentes para cada año cuando el pleno de retención coincide con la suma asegurada media:

*Tabla 11: Primas de reaseguro de excedentes cuando el pleno de retención coincide con la suma asegurada media para cada año.*

| AÑO | Pleno Retención | Primas Reaseguro |
|---|---|---|
| 2017 | 110,099.80 € | 1,415,296.00 € |
| 2018 | 109,608.00 € | 1,450,588.00 € |
| 2019 | 109,309.20 € | 1,505,787.00 € |
| 2020 | 107,245.50 € | 1,566,406.00 € |
| 2021 | 105,801.50 € | 1,621,230.00 € |

*Fuente: Elaboración propia*

Las primas abonadas por parte de la cedente al reasegurador son mayores cuando se fija un pleno de retención $M = 125{,}000€$ puesto que, las sumas aseguradas medias, son inferiores a dicho importe.

#### 3.2.2.3. CONTRATO DE EXCEDENTES CON CAPACIDAD DE CONTRATO

Condiciones del contrato:

- Pleno de retención $M = 125.000€$
- Dos contratos de excedentes.
- Capacidad de contrato primer excedentes: 3 plenos.
- Capacidad de contrato segundo excedente: ilimitada.

En los contratos de reaseguro de excedentes con capacidad de contrato limitada debe calcularse el capital reasegurado de cada excedente, en este caso existen dos contratos establecidos con una sola compañía o con dos compañías reaseguradoras. El primer contrato asume hasta tres veces el pleno de retención, 375.000€ y el segundo contrato, asume de forma ilimitada, la parte de suma asegurada que excede la capacidad del primer contrato de excedentes.

Contrato calculado para una póliza real de la cartera escogida al azar:

Para mostrar los cálculos de una forma más simple, se escoge una póliza de la cartera al azar y posteriormente, se desarrollarán los cálculos referentes al contrato de reaseguro de excedentes: con capacidad de contrato:

*Tabla 12: Información correspondiente a una póliza al azar de la cartera estudiada.*

| **Póliza** | **Sexo** | **Fecha Nacimiento** | **Fecha de contratación** | **Capital** | **Edad** |
|---|---|---|---|---|---|
| 157828 | M | 26/6/74 | 31/12/20 | 693,184.10 € | 46 |

*Fuente: Elaboración propia*

El capital reasegurado asignado al primer contrato de excedentes se expresa de la siguiente forma:

$$C_1^R = 375{,}000€$$

El capital reasegurado asignado al segundo contrato de excedentes se expresa de la siguiente forma:

$$C_2^R = 693{,}184.10€ - 500{,}000€ = 193{,}184.10€$$

Aplicando la fórmula del cálculo de la prima a prima de riesgo vista en el apartado anterior, obtenemos los siguientes resultados:

$$P_1^R = 375{,}000€ \cdot 1 \cdot 0.0009302965 \cdot (1 + 0.0059)^{-0.5} = \mathbf{347.84}€$$

$$P_2^R = 193{,}184.10€ \cdot 1 \cdot 0.0009302965 \cdot (1 + 0.0059)^{-0.5} = \mathbf{179.19}€$$

Donde $0.0009302965$ es el valor $(q_x^*)$ referido a las tablas de mortalidad de un individuo masculino con una edad de 46 años y $0.0059$ es el tipo de interés en tanto por uno aplicado para el año 2020.

La siguiente tabla muestra la suma total de los capitales asegurados para cada uno de los contratos de excedentes por años:

*Tabla 13: Capitales de reaseguro del contrato*

| AÑOS | Capital retenido por la cedente. | Capital reasegurado por el primer excedente. | Capital reasegurado por el segundo excedente. |
|---|---|---|---|
| 2017 | 4,397,355,229.00 € | 1,005,736,128.00 € | 87,585,459.00 € |
| 2018 | 4,288,772,869.00 € | 973,122,212.00 € | 84,566,300.00 € |
| 2019 | 4,178,173,296.00 € | 950,994,246.00 € | 88,379,200.00 € |
| 2020 | 4,138,579,883.00 € | 922,315,342.00 € | 78,950,560.00 € |
| 2021 | 4,011,152,608.00 € | 879,269,796.00 € | 70,399,560.00 € |

*Fuente: Elaboración propia*

Una vez hallado el capital reasegurado para cada una de las pólizas que componen la cartera, aplicamos la fórmula del método de suma a primas de riesgo para calcular las primas de reaseguro correspondientes a ambos contratos de excedentes:

$$P_1^R = C_1^R \cdot h \cdot q_x^* \cdot v^{1/2}$$

$$P_2^R = C_2^R \cdot h \cdot q_x^* \cdot v^{1/2}$$

A continuación, se muestran los resultados de las primas de reaseguro de excedentes para cada uno de los contratos asumidos en este caso:

*Tabla 14: Primas de reaseguro de excedentes cuando el pleno de retención coincide con la suma asegurada media para cada año.*

| AÑOS | Primas 1er EXCEDENTE | Primas 2º EXCEDENTE |
|---|---|---|
| 2017 | 1,048,727.00 € | 105,117.50 € |
| 2018 | 1,072,143.00 € | 99,925.65 € |
| 2019 | 1,106,938.00 € | 108,901.56 € |
| 2020 | 1,132,236.00 € | 92,200.31 € |
| 2021 | 1,144,084.00 € | 98,444.34 € |

*Fuente: Elaboración propia*

Podemos observar como la suma de las primas de reaseguro cedidas en ambos contratos de excedentes coinciden con las primas abonadas en el contrato de excedentes simple *(visto en el apartado 3.2.2.1)*. Este tipo de contrato limita la responsabilidad del primer reasegurador, que consigue reducir el riesgo a costa de recibir una prima menor.

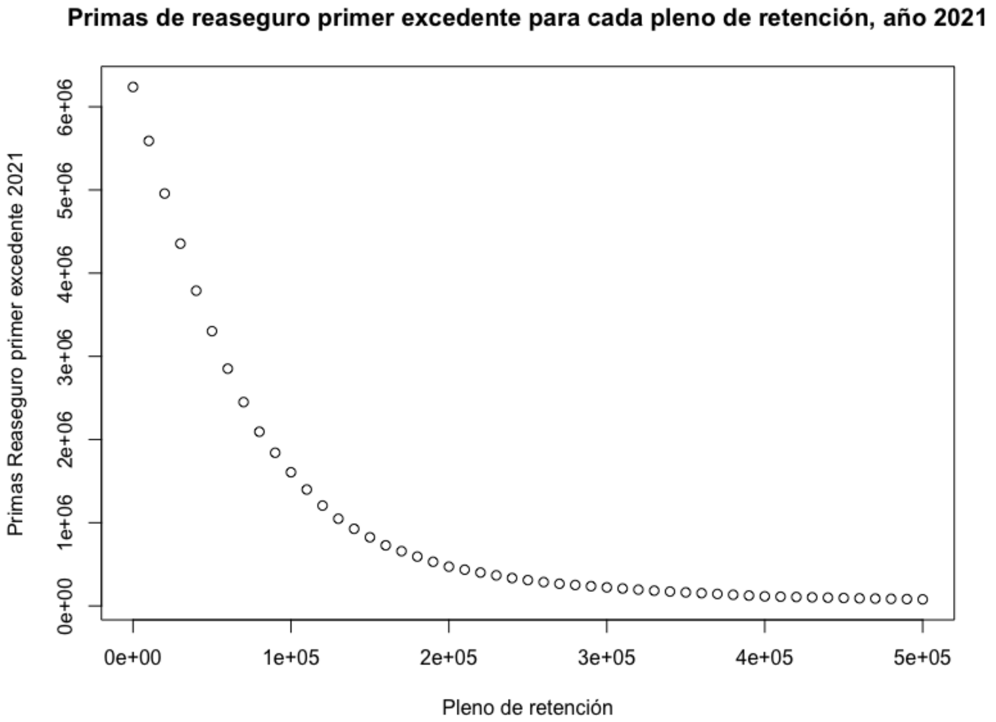
El reasegurador que entra en el segundo contrato de excedentes asumirá el exceso de riesgo que deja de asumir el primer reasegurador, percibiendo unas primas mucho menores que este, puesto que el pleno de retención es más elevado que todas las sumas aseguradas medias de cada año y la capacidad del contrato es de tres plenos.

Gráficos:

A continuación, se observan dos gráficos referentes al año 2021 que muestran la relación que hay entre el pleno de retención y las primas de reaseguro tanto para el primer contrato como para el segundo.

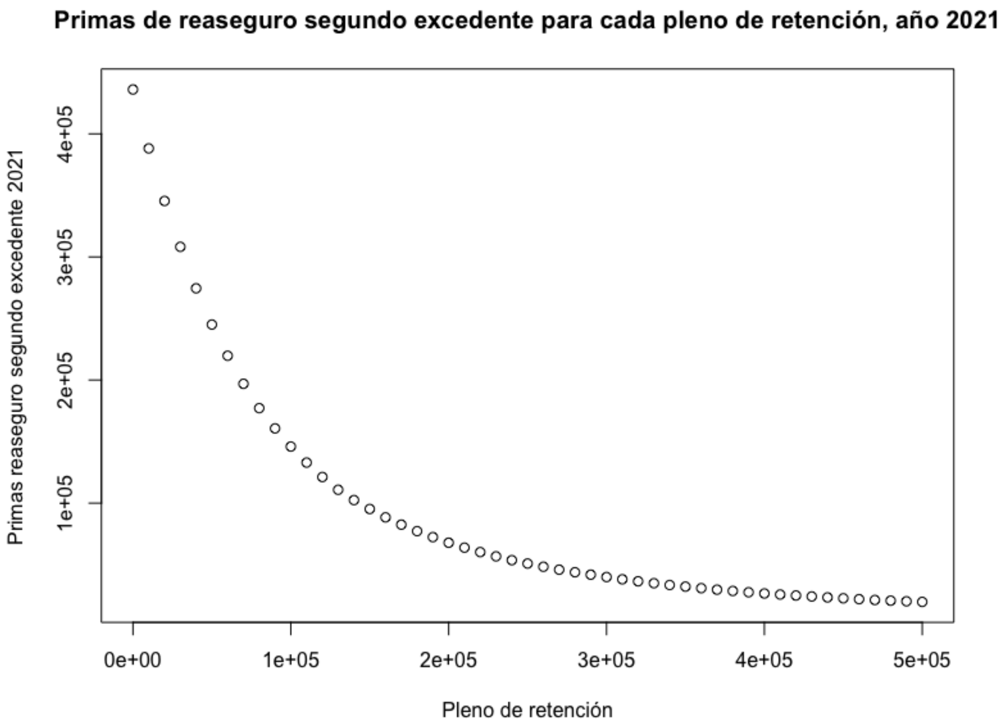
Se han generado cincuenta valores diferentes de la variable "M" (pleno de retención) y se ha calculado para cada uno de ellos la prima de reaseguro correspondiente al primer excedente y al segundo excedente:

*Gráfico 5: Relación del pleno de retención con las primas de reaseguro abonadas por parte de la cedente en 2021 al primer contrato de excedentes.*




*Fuente: Elaboración propia*

*Gráfico 6: Relación del pleno de retención con las primas de reaseguro abonadas por parte de la cedente en 2021 al segundo contrato de excedentes.*




*Fuente: Elaboración propia*

Comparando ambos gráficos se observa cómo, en todo momento, las primas del primer excedente son superiores a las del segundo, con esta información podemos concluir que prevalecen las primas con sumas aseguradas de menor importe a las de mayor importe.

Si comparamos el gráfico 4 con el gráfico 5, se aprecia como las primas de reaseguro en el primer contrato de excedentes son menores que en el caso del contrato de excedentes simple, esta disminución viene provocada por la entrada del segundo contrato de excedentes que hace disminuir la responsabilidad del primero.

## 3.3. CÁLCULO DE PARÁMETROS RELACIONADOS CON SOLVENCIA.

El objetivo de este apartado es relacionar la probabilidad de solvencia de la compañía cedente con los resultados de las diferentes estrategias de reaseguro analizadas para la cartera del ejercicio 2021:

Para ello, se han analizado y calculado las esperanzas matemáticas y las desviaciones estándar totales de la cartera para cada una de las estrategias de reaseguro con tal de aplicarlo a la fórmula estudiada en el marco teórico y que a continuación se recuerda:

$$t_{\epsilon} = \frac{\lambda \cdot E[Z] + S}{D[Z]}$$

En nuestro caso en particular asumimos que la compañía aplica un recargo de seguridad "$\lambda$" aplicado a la esperanza matemática del 25% sobre ésta y que dispone de unas reservas de solvencia S por importe de 100,000€:

Todos los cálculos necesarios para la ejecución de este apartado se han realizado con la ayuda del software libre R Commander.

### 3.3.1. Probabilidad de solvencia total de la cartera

A continuación, se calculan los parámetros estadísticos necesarios para evaluar la solvencia en la cartera de seguros Temporales Anuales Renovables estudiada en el presente trabajo sin considerar el resaseguro:

$E[Z] = 6{,}392{,}300€$

$D[Z] = 1{,}045{,}681€$

Una vez encontrados los estadísticos básicos, sustituimos en la fórmula para hallar el percentil de la distribución normal estándar:

$$t_{\epsilon} = \frac{0.25 \cdot 6{,}392{,}300 + 100{,}000}{1{,}045{,}681} = 1.623894$$

Aplicando la función pnorm del software libre R Commander obtenemos la probabilidad acumulada hasta el percentil hallado en el cálculo anterior:

$$Probabilidad\ de\ solvencia = \mathbf{94,78}\%$$

## 3.3.2. Probabilidad de solvencia de la compañía cedente.

### *3.3.2.1. Cuota-parte asumiendo disponibilidad de reservas de solvencia.*

A continuación, se calculan los parámetros estadísticos necesarios para relacionar la solvencia de la compañía cedente con el modelo cuota-parte aplicado a la cartera de seguros Temporales Anuales Renovables bajo las siguientes condiciones:

- Cuota de retención de $k = 0.8$
- Reservas de solvencia: $S = 100{,}000$€
- Recargo de seguridad: $\lambda = 0.25$

$E[Z_C] = 5{,}113{,}840$€

$D[Z_C] = 836{,}545$€

Una vez encontrados los estadísticos básicos, sustituimos en la fórmula para hallar el percentil de la distribución normal estándar:

$$t_{\epsilon} = \frac{0.25 \cdot 5{,}113{,}840 + 100{,}000}{836{,}545} = 1.647802$$

Aplicando la función pnorm del software libre R Commander obtenemos la siguiente probabilidad de solvencia:

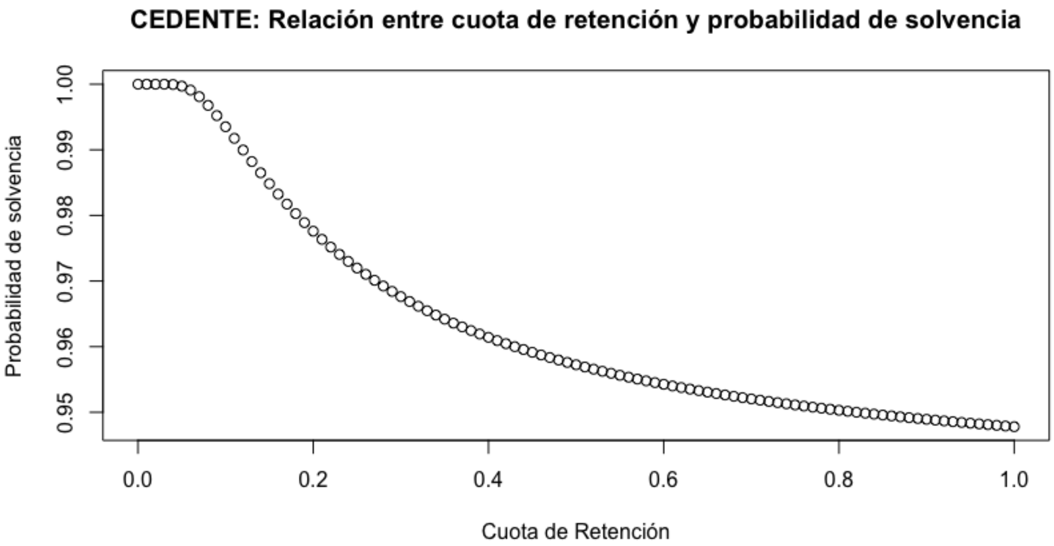
$$Probabilidad\ de\ solvencia = \mathbf{95,03}\%$$

<u>Gráficos:</u>

Se han realizado tres de gráficos para analizar la sensibilidad de los diferentes parámetros que actúan sobre el cálculo de la probabilidad de solvencia en el contrato de reaseguro cuota parte asumiendo la disponibilidad de reservas.

En el siguiente gráfico se observa la relación entre la cuota de retención y la probabilidad de solvencia en la cartera que retiene la entidad cedente:

*Gráfico 7: Relación entre la cuota de retención y la probabilidad de solvencia en la entidad cedente.*

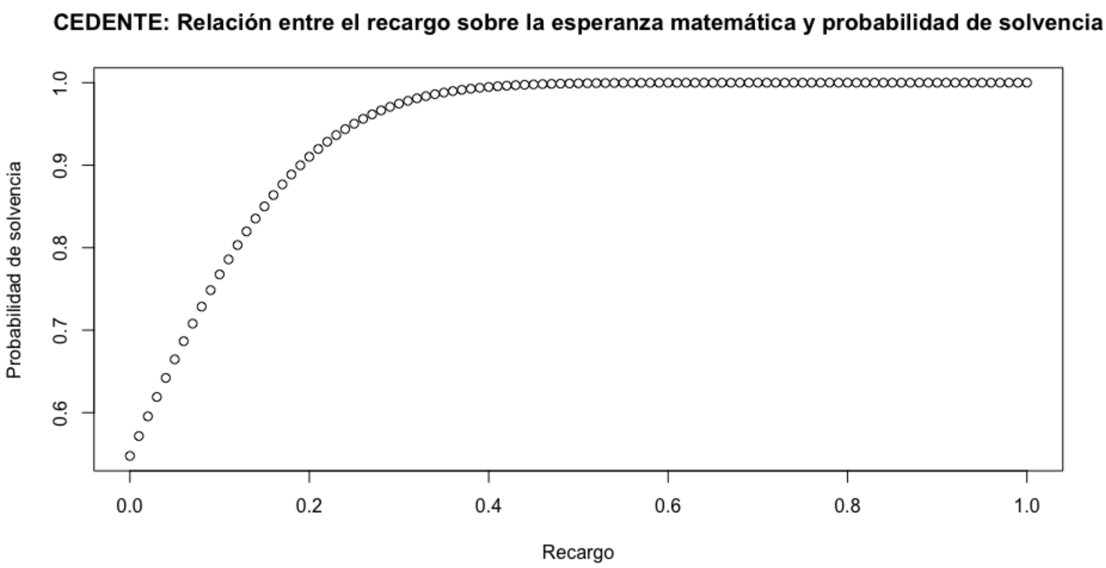



*Fuente: Elaboración propia*

En el gráfico anterior, se observa una dinámica exponencial, en cuanto mayor es la cuota de retención menor probabilidad de solvencia tendrá la entidad cedente. Si la cuota de retención se sitúa al 0% querrá decir que la cedente no estará asumiendo ningún riesgo, es por eso por lo que la probabilidad de solvencia se sitúa en el 100%.

La siguiente representación, analiza la evolución de la probabilidad de solvencia respecto al valor que toma el recargo de seguridad aplicado sobre la esperanza matemática:

*Gráfico 8: Relación entre el recargo sobre la esperanza matemática y la probabilidad de solvencia en la entidad cedente.*

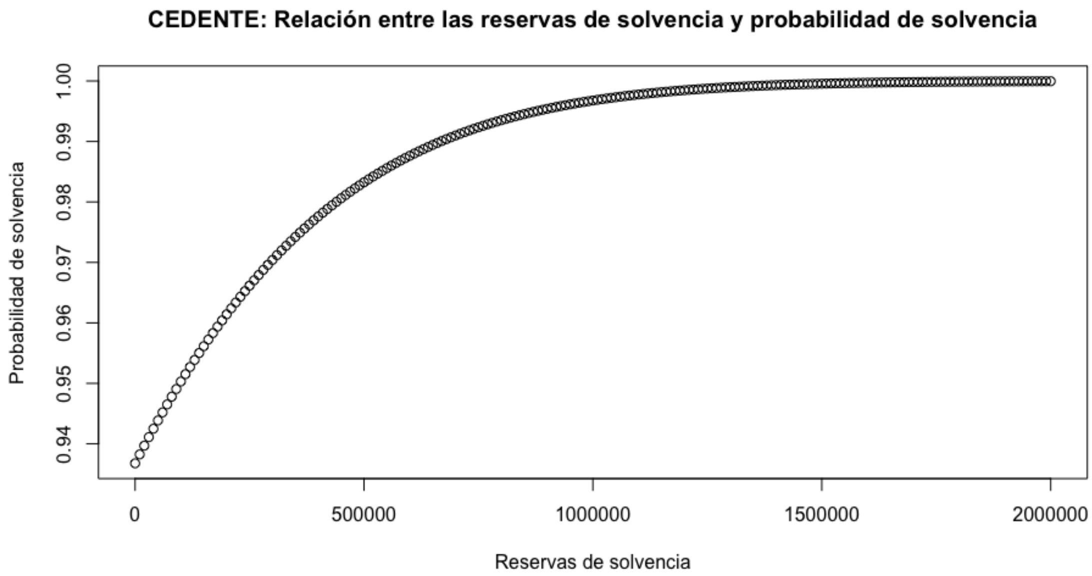



*Fuente: Elaboración propia*

El parámetro "$\lambda$" es la variable más sensible de las analizadas hasta el momento, los niveles de probabilidad de solvencia se mueven en el intervalo del 50% al 100%, cuando el recargo de seguridad alcanza valores de 0 a 1 respectivamente.

En el siguiente caso, se grafica la relación entre las reservas de solvencia y la probabilidad de solvencia de la compañía cedente:

*Gráfico 9: Relación entre las reservas de solvencia y la probabilidad de solvencia en la entidad cedente.*




*Fuente: Elaboración propia*

Unas reservas de solvencia elevadas implican una probabilidad de solvencia del 100%, pero si no disponemos de reservas, se presenta una situación estable pues la cartera estudiada es solvente de por sí.

#### 3.3.2.2. Cuota-parte asumiendo la no disponibilidad de reservas de solvencia.

A continuación, se calculan los parámetros estadísticos necesarios para relacionar la solvencia de la compañía cedente con el modelo cuota-parte aplicado a la cartera de seguros Temporales Anuales Renovables bajo las siguientes condiciones:

- Cuota de retención de $k = 0.8$
- Reservas de solvencia: $S = 0$
- Recargo de seguridad: $\lambda = 0.25$

$E[Z_C] = 5{,}113{,}840€$

$D[Z_C] = 836{,}545€$

Una vez encontrados los estadísticos básicos, sustituimos en la fórmula para hallar el percentil de la función de distribución normal estándar:

$$t_{\epsilon} = \frac{0.25 \cdot 5,113,840 + 0}{836,545} = 1.528262$$

Aplicando la función pnorm del software libre R Commander obtenemos la siguiente probabilidad de solvencia:

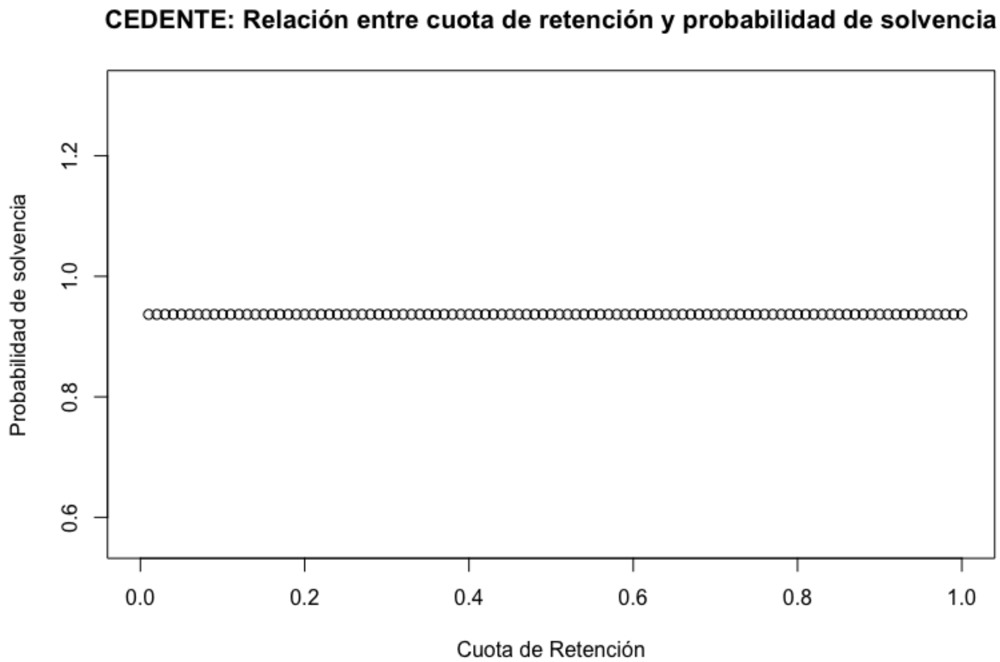
$$Probabilidad\ de\ solvencia = \mathbf{93,67}\%$$

<u>Gráficos:</u>

A continuación, se ilustran dos gráficos para estudiar la evolución de los diferentes parámetros implícitos en el cálculo de la probabilidad de solvencia en el caso en que no se dispone de reservas de solvencia en un contrato de reaseguro cuota parte.

Cuando las reservas de solvencia asignadas a la cartera estudiada son inexistentes, es interesante estudiar la sensibilidad de la cuota de retención, es por eso por lo que en el siguiente gráfico se analiza la relación entre la cuota de retención y la probabilidad de solvencia cuando no existen reservas de solvencia:

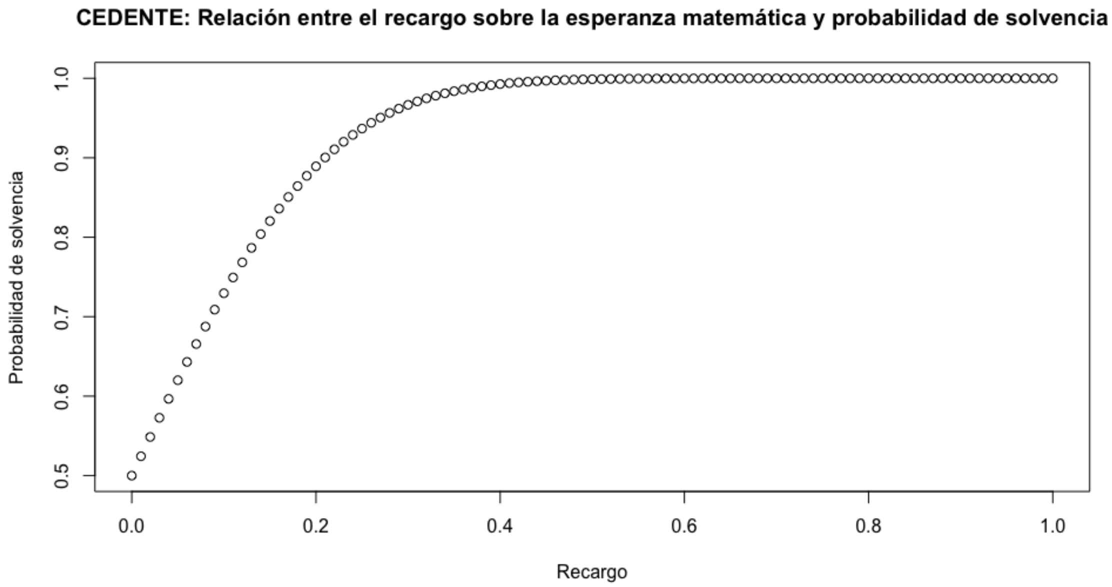
*Gráfico 10: Relación entre la cuota de retención y la probabilidad de solvencia en la entidad cedente cuando no existen reservas de solvencia.*




*Fuente: Elaboración propia*

Como bien se puede apreciar en el gráfico anterior, la cuota de retención no tiene ninguna relevancia en la probabilidad de solvencia cuando no se dispone de reservas de solvencia.

*Gráfico 11: Relación entre el recargo de seguridad y la probabilidad de solvencia en la entidad cedente cuando no existen reservas de solvencia.*




Se observa cómo, en este caso, el recargo de seguridad sí que tiene incidencia en el cálculo de la probabilidad de solvencia, sigue la misma tendencia que en el caso de haber reservas de solvencia, pero alcanza unos valores más pequeños para cada valor del parámetro "$\lambda$".

### *3.3.2.3. Excedentes asumiendo la disponibilidad de reservas de solvencia*

A continuación, se calculan los parámetros estadísticos necesarios para relacionar la solvencia de la compañía cedente con el modelo de excedentes aplicado a la cartera de seguros Temporales Anuales Renovables bajo las siguientes condiciones:

- Pleno de retención de $M = 125{,}000€$
- Reservas de solvencia: $S = 100{,}000€$
- Recargo de seguridad: $\lambda = 0.25$

$E[Z_C] = 5{,}236{,}763€$

$D[Z_C] = 706{,}135.2€$

Una vez encontrados los estadísticos básicos, sustituimos en la fórmula para hallar el percentil de la distribución normal estándar:

$$t_{\epsilon} = \frac{0.25 \cdot 5{,}236{,}763 + 100{,}000}{706{,}135.2} = 1.995639$$

Aplicando la función pnorm del software libre R Commander obtenemos la siguiente probabilidad de solvencia:

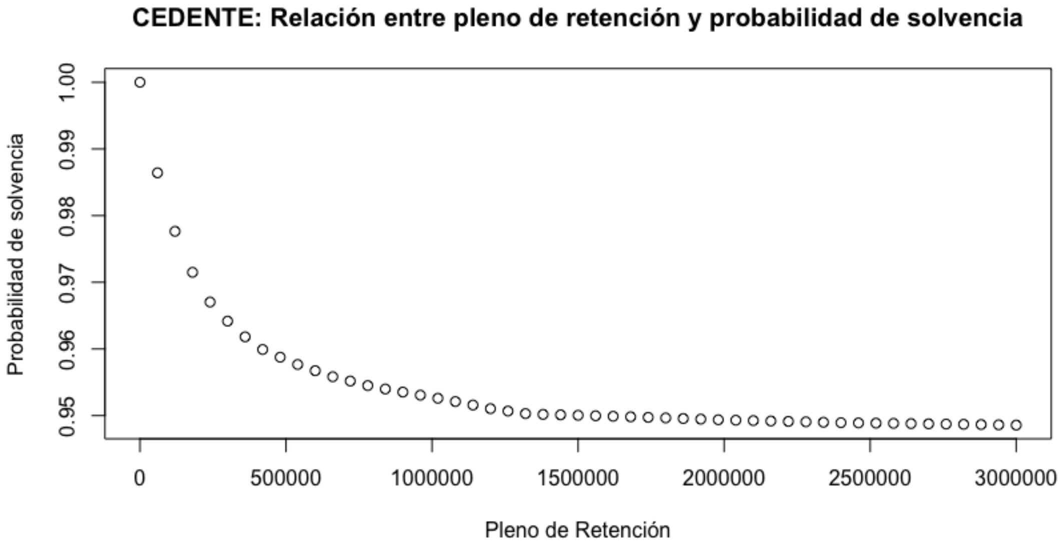
$$Probabilidad\ de\ solvencia = \mathbf{97,70}\%$$

Gráfico:

Nótese que solo se ilustraran los gráficos que relacionan el pleno de retención con la probabilidad de solvencia debido a que la sensibilidad de los otros parámetros es similar a las obtenidas en el cálculo del contrato cuota parte.

En el siguiente gráfico se observa la relación entre el pleno de retención y la probabilidad de solvencia en la cartera que retiene la entidad cedente:

*Gráfico 12: Relación entre el pleno de retención y la probabilidad de solvencia en la entidad cedente cuando se asume disponibilidad de reservas de solvencia.*




*Fuente: Elaboración propia*

El valor máximo que se ha generado para la variable pleno de retención ha sido 3,000,000 puesto que, el capital máximo contratado en la cartera es de tal importe.

En el gráfico observamos una dinámica exponencial, en cuanto mayor es el pleno de retención, menor probabilidad de solvencia tendrá la entidad cedente. Si el pleno de retención se sitúa en 0 querrá decir que la cedente no estará asumiendo ningún riesgo, es por eso por lo que la probabilidad de solvencia se sitúa en el 100%.

#### *3.3.2.4. Excedentes asumiendo la no disponibilidad de reservas de solvencia*

A continuación, se calculan los parámetros estadísticos necesarios para relacionar la solvencia de la compañía cedente con el modelo de excedentes aplicado a la cartera de seguros Temporales Anuales Renovables bajo las siguientes condiciones:

- Pleno de retención de $M = 125{,}000€$
- Reservas de solvencia: $R = 0€$

- Recargo de seguridad: $\lambda = 0.25$

$E[Z_C] = 5{,}236{,}763€$

$D[Z_C] = 706{,}135.2€$

Una vez encontrados los estadísticos básicos, sustituimos en la fórmula para hallar el percentil de la distribución normal estándar:

$$t_{\epsilon} = \frac{0.25 \cdot 5{,}236{,}763 + 0}{706{,}135.2} = 1.854023$$

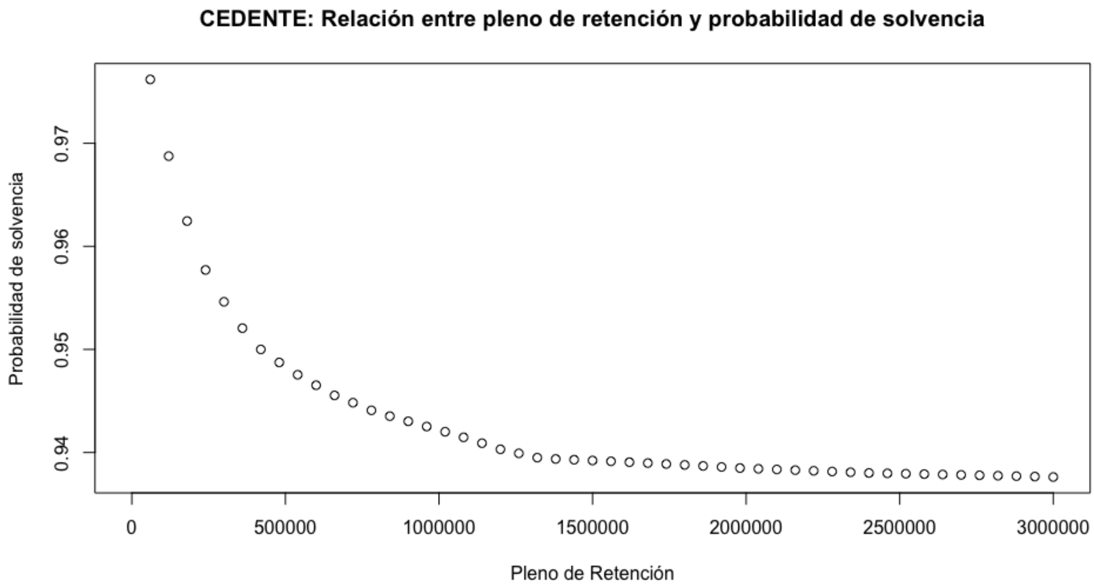
Aplicando la función pnorm del software libre R Commander obtenemos la siguiente probabilidad de solvencia:

$$Probabilidad\ de\ solvencia = \mathbf{96{,}81}\%$$

<u>Gráfico:</u>

En el siguiente gráfico se observa la relación entre el pleno de retención y la probabilidad de solvencia en la cartera que retiene la entidad cedente:

*Gráfico 13: Relación entre el pleno de retención y la probabilidad de solvencia en la entidad cedente cuando se asume no disponibilidad de reservas de solvencia.*




*Fuente: Elaboración propia*

En este caso, sí observamos que el pleno de retención tiene incidencia en el cálculo de la probabilidad de solvencia y que sigue una tendencia exponencial decreciente.

Si lo comparamos con el gráfico 13, llegamos a la conclusión de que, en el caso de no disponer de reservas, la caída de la probabilidad de solvencia es más pronunciada conforme crece el nivel de pleno de retención.

La probabilidad de solvencia asumiendo la no disponibilidad de reservas, alcanza un valor más bajo cuando el pleno de retención se sitúa en su máximo.

## 3.4. REASEGURO EXCESS-LOSS MODIFICADO

La nueva modalidad de reaseguro planteado en este trabajo es un Excess-Loss modificado donde la prioridad es diferente para cada póliza y coincide con la suma asegurada de ésta.

El objetivo principal de este contrato de reaseguro es cubrirse de los gastos extraordinarios que puedan generar los siniestros de un seguro temporal anual renovable. Estos gastos pueden ser producidos por el pago de intereses de demora judiciales o por costes de un proceso de defensa judicial.

Con esta tipología de reaseguro contratado, la empresa cedente se asegura que, en caso de acaecer un siniestro, la pérdida incurrida se limite al importe de la suma asegurada por lo que, el único riesgo asumido es el riesgo de mortalidad.

Para el cálculo de la prima del contrato de reaseguro Exess-Loss modificado aplicaremos la técnica de tarificación de Burning Cost, esta técnica consiste en caso de que la compañía tenga información suficiente, en aplicar un coeficiente sobre la prima estimada del ejercicio en el que se lleva a cabo el contrato de reaseguro. Se trata por tanto de calcular la prima de reaseguro al inicio del ejercicio, procediéndose al reajuste de esta al final de año.

La prima de reaseguro en t, $P_t^R$, que la compañía cedente debería satisfacer a la entidad reaseguradora se determina al inicio de cada periodo y presenta la siguiente expresión:

$$P_t^R = P_{t,t+1} \cdot BC_t$$

Donde:

$P_{t,t+1}$: Primas que la cedente estima percibir en el intervalo temporal $[t, t+1]$.

$BC_t$: Es el coeficiente Burning Cost que comparar las primas recaudadas durante varios años precedentes por la aseguradora directa, con el importe de los siniestros declarados durante esos mismos años a cargo del reasegurador, en caso de haber existido en tales ejercicios una cobertura de reaseguro análoga a la que se pretende aplicar:

$$BC = \frac{Suma\ de\ siniestros\ a\ cargo\ del\ reasegurador\ en\ el\ periodo\ determinado}{Suma\ de\ primas\ totales\ cobradas\ por\ la\ cedente\ en\ el\ dicho\ periodo}$$

Este coeficiente utilizado para la tarificación de contratos de reaseguro no proporcionales se reajusta de forma regular y paulatina a medida que vencen cada uno de los contratos de reaseguro anuales. A final del ejercicio se recalcula el coeficiente Burning Cost, teniendo en cuenta la siniestralidad del ejercicio anterior.

El periodo histórico escogido para este trabajo ha sido de cinco años, pues se considera que las condiciones de los riesgos de mortalidad experimentan grandes cambios en el tiempo, es por eso por lo que se cree más fiable emplear datos recientes donde sabemos que el riesgo de fallecimiento es similar.

Si, para estudiar el coeficiente Burning Cost, se cogiera un intervalo de años superior a los cinco, tendríamos en cuenta un riesgo de fallecimiento mucho mayor que no va acorde con la evolución de la mortalidad que existe en la actualidad, donde la población es cada vez más longeva.

Para conocer el importe de los siniestros a cargo del reasegurador en caso de haber existido la cobertura descrita anteriormente en el periodo de experiencia considerado, se ha desarrollado el triángulo de todos aquellos siniestros acaecidos en el año de origen y comunicados en años posteriores.

En el caso del reaseguro Excess-Loss modificado, solo interesa el importe de la diferencia de los siniestros que han superado el monto total del capital asignado para cada póliza ya que, recordemos, el objetivo principal es reasegurar todos los gastos extraordinarios que van ligados al pago de los siniestros.

A continuación, se calcula la prima de reaseguro estimada pagadera al inicio del ejercicio 2022, tomando como periodo de experiencia los años comprendidos entre el 2017 y el 2021.

En la siguiente tabla se recogen los datos de las diferencias entre siniestro y capital en los casos en que la cuantía del primero supera la del segundo, separados por el año de ocurrencia y el año de pago.

*Tabla 15: Triangulo de diferencias de siniestros pagados sin indexar.*

| Año origen\Año desarrollo | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| 2017 | 105621.77 | 16849.63 | 9250.11 | 1408.59 | 133.54 |
| 2018 | 123916.37 | 29957.20 | 220.17 | 54.97 | |
| 2019 | 266120.86 | 14876.95 | 1620.50 | | |
| 2020 | 115437.87 | 20287.85 | | | |
| 2021 | 108650.90 | | | | |

*Fuente: Elaboración propia*

La tabla anterior muestro los importes en términos absolutos, sin embargo, la cuantía de los siniestros no es real, ya que no contempla la inflación de los últimos cinco años, por tanto, dichas cuantías de los siniestros se deben corregir monetariamente. Se está suponiendo que los importes de cada año se refieren a unidades monetarias con el poder adquisitivo de ese mismo año.

La evolución del IPC de los últimos cinco años tomando como año base el 2021 ha sido la siguiente:

*Tabla 16: Índices de Precios al consumo, tomando año base el 2021:*

| | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|---|---|---|---|---|---|
| IPC | 95.046 | 96.638 | 97.314 | 97 | 100 |
| Crecimiento en % | | 1.65% | 0.69% | -0.32% | 3.00% |
| Base | 100 | 101.647385 | 102.353487 | 102.022157 | 105.082822 |
| Índice | 1.05082822 | 1.03379759 | 1.02666577 | 1.03 | 1 |

*Fuente: Instituto Nacional de Estadística, 2021*

Para indexar los importes de los siniestros y por lo tanto tener en cuenta la corrección monetaria debemos multiplicar los índices de indexación calculados en la tabla 4 sobre las cuantías de la tabla 3, el resultado de esta operación se muestra en la tabla 5.

*Tabla 17: Triangulo de diferencias de siniestros pagados indexados.*

| Año origen\Año desarrollo | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| 2017 | 110.990,34 € | 17.706,07 € | 9.720,28 € | 1.480,19 € | 140,33 € |
| 2018 | 128.104,44 € | 30.969,68 € | 227,61 € | 56,83 € | |
| 2019 | 273.217,18 € | 15.273,66 € | 1.663,71 € | | |
| 2020 | 118.901,01 € | 20.896,49 € | | | |
| 2021 | 108.650,90 € | | | | |

*Fuente: Elaboración propia*

Una vez corregidos monetariamente los importes, se procede a la estimación de los pagos futuros de los siniestros ocurridos, pero no comunicados; para ello se recurre al método de estimación de Chain-Ladder, que consiste en calcular unos factores de desarrollo para el consiguiente cálculo de las estimaciones. Para aplicar el método de estimación de Chain Ladder es necesario obtener el triángulo de las cuantías acumuladas:

*Tabla 18: Triangulo de cuantías acumuladas indexadas.*

| Año origen\Año desarrollo | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| 2017 | 110.990,34 € | 128.696,40 € | 138.416,68 € | 139.896,87 € | 140.037,19 € |
| 2018 | 128.104,44 € | 159.074,13 € | 159.301,74 € | 159.358,56 € | |
| 2019 | 273.217,18 € | 288.490,83 € | 290.154,54 € | | |
| 2020 | 118.901,01 € | 139.797,49 € | | | |
| 2021 | 108.650,90 € | | | | |

*Fuente: Elaboración propia*

Nótese que, para obtener los resultados de los cálculos que se muestran a continuación en el software R, se ha utilizado el siguiente workspace: *Provisión: Área de Trabajo en lenguaje R para el cálculo de provisiones técnicas en seguros no de vida con métodos deterministas (Claramunt Bielsa, M.Mercè, Costa Cor, Teresa, Boj del Val, Eva)*

Los factores de desarrollo o coeficientes IBNR, los obtenemos realizando las siguientes operaciones:

$$F1 = \frac{140{,}037.19}{139{,}896.87} = 1.001003$$

$$F2 = \frac{139{,}896.87 + 159{,}358.56}{138{,}416.68 + 159{,}301.74} = 1.005162$$

$$F3 = \frac{138{,}416.68 + 159{,}301.74 + 290{,}154.54}{128{,}696.40 + 159{,}074.13 + 288{,}490.83} = 1.0201498$$

$$F4 = \frac{128{,}696.40 + 159{,}074.13 + 288{,}490.83 + 139{,}797.49}{110990.34 + 128{,}104.44 + 273{,}217.18 + 118{,}901.01} = 1.134417$$

A continuación, se muestra el rectángulo de cuantías acumuladas calculadas con la estimación de Chain-Ladder, aplicando los coeficientes de IBNR:

*Tabla 19: Rectángulo de cuantías estimadas acumuladas.*

| Año origen\Año desarrollo | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| 2017 | 110,990.3 | 128,696.4 | 138,416.7 | 139,896.9 | 140,037.2 |
| 2018 | 128,104.4 | 159,074.1 | 159,301.7 | 159,358.6 | 159,358.6 |
| 2019 | 273,217.2 | 288,490.8 | 290,154.5 | 290,154.5 | 290,154.5 |
| 2020 | 118,901 | 139,797.5 | 139,797.5 | 139,797.5 | 139,797.5 |
| 2021 | 108,650.9 | 108,650.9 | 108,650.9 | 108,650.9 | 108,650.9 |

*Fuente: Elaboración propia*

Por lo tanto, realizando el sumatorio de la última columna, que corresponde a las cuantías de los siniestros acumulados de cada año de origen, obtenemos el monto total de siniestros a cargo del reasegurador en los últimos cinco años que utilizaremos para calcular el Burning Cost:

$$140{,}037.2 + 159{,}358.6 + 290{,}154.5 + 139{,}797.5 + 108{,}650.9 = \mathbf{837{,}998.7€}$$

Una vez conocemos la suma de los siniestros declarados a cargo del reasegurador en los últimos cinco años en caso de haber existido en tales ejercicios una cobertura de reaseguro análoga a la que se pretende aplicar, debemos hallar la suma de las primas totales cobradas por la aseguradora directa en el periodo que nos concierne.

Las primas totales cobradas por la empresa cedente en el seguro directo se reflejan en la siguiente tabla (cálculos realizados en el software R, código adjuntado en los anexos), podemos observar como el crecimiento de la cartera en cuanto a primas se refiere es creciente y gira entorno al 3,5% y al 4%:

*Tabla 20: Primas puras totales del seguro temporal anual renovable*

| AÑO | PRIMAS | CRECIMIENTO |
|---|---|---|
| 2017 | 5,523,762 € | - |
| 2018 | 5,712,022 € | 3.41% |
| 2019 | 5,947,870 € | 4.13% |
| 2020 | 6,189,373 € | 4.06% |
| 2021 | 6,392,300 € | 3.28% |

*Fuente: Elaboración propia*

De nuevo, el importe de las primas cobradas por parte de la cedente no es real, ya que no contempla la inflación de los últimos cinco años, por tanto, las cuantías de estas primas deben corregirse monetariamente.

*Tabla 21: Primas puras totales del seguro temporal anual renovable indexadas.*

| AÑO | Primas cobradas | Índice de precios | Primas indexadas | Crecimiento real |
|---|---|---|---|---|
| 2017 | 5,523,762.00 € | 1.050828 | 5,804,525.00 € | |
| 2018 | 5,712,022.00 € | 1.033798 | 5,905,074.00 € | 1.7322683 |
| 2019 | 5,947,870.00 € | 1.026666 | 6,106,475.00 € | 3.4106276 |
| 2020 | 6,189,373.00 € | 1.03 | 6,375,054.00 € | 4.3982797 |
| 2021 | 6,392,300.00 € | 1 | 6,392,300.00 € | 0.2705246 |

*Fuente: Elaboración propia*

Por lo tanto, el monto total de las primas cobradas por parte de la compañía aseguradora directa en los últimos cinco años que utilizaremos para calcular el Burning Cost, ha sido de:

$$5{,}804{,}525€ + 5{,}905{,}074€ + 6{,}106{,}475€ + 6{,}375{,}054€ + 6{,}392{,}300€ = \mathbf{30{,}583{,}428€}$$

Una vez conocemos ambos datos necesarios para el cálculo del coeficiente del Burning Cost, aplicamos la fórmula de este para poder calcular la prima del reaseguro para el siguiente periodo:

$$BC = \frac{Suma\ de\ siniestros\ a\ cargo\ del\ reasegurador\ en\ el\ periodo\ determinado}{Suma\ de\ primas\ totales\ cobradas\ por\ la\ cedente\ en\ el\ dicho\ periodo}$$

Si la extrapolamos a nuestros datos no sale el siguiente coeficiente:

$$BC = \frac{837{,}998.7€}{30{,}583{,}428€} = \mathbf{0.02740042}$$

Para poder aplicar este coeficiente, es necesario estimar las primas que la compañía cedente cobrará en el siguiente periodo. La estimación de las primas que la compañía aseguradora cobrará en el ejercicio 2022 consistirá en el producto del promedio del crecimiento anual de las primas, multiplicado por las primas cobradas en el ejercicio 2022. El promedio del crecimiento anual de las primas indexadas es del 2.452925%

(cálculo realizado en software R, código disponible en el anexo) por lo que el cálculo de la prima estimada es el siguiente:

$$Prima\ estimada\ 2022 = Prima\ 2021 * (1 + promedio\ del\ crecimiento\ anual)$$

$$Prima\ estimada\ 2022 = 6{,}392{,}300€ * (1 + 0.02452925) = \mathbf{6,549,099}€$$

Con el importe estimado de las primas del próximo ejercicio calculado, solo quedaría aplicar el coeficiente Burning Cost para conocer la prima de reaseguro que la empresa cedente abonará a la compañía reaseguradora, no obstante, se ha considerado necesario calcular la desviación típica de los siniestros a cargo del reasegurador en los últimos cinco años para aplicar un recargo que tenga en cuenta el factor de variabilidad de los datos. Supondremos que el recargo a aplicar será el 5% de la deviación típica de los datos de la última columna de la tabla 19, su valor ha resultado ser de 70,878.79, por lo que el recargo que tendremos que añadir se eleva hasta los 3,543.94€. Con todo esto, el cálculo de la prima de reaseguro quedaría de la siguiente forma:

$$P_R = 6{,}549{,}099€ * 0.02740042 + 5\% * 70{,}878.79 = \mathbf{182,992}€$$

La cuantía que la empresa cedente tendría que abonar a la compañía reaseguradora para la cesión del riesgo de incurrir en gastos extraordinarios adyacentes a los siniestros de una cartera de un seguro temporal anual renovable es de, **182,992€**. Pagando esta cuantía, la compañía reaseguradora se haría cargo del importe de la diferencia entre el capital asegurado y el siniestro en aquellos casos en que la suma total del siniestro supere la cuantía de la suma asegurada.

Esta prima será satisfecha al inicio del ejercicio en cuestión, pero se deberá de reajustar al final de este cuando se conozca la prima definitiva que la compañía cedente habrá cobrado para el año 2022. En caso de que la cifra de primas supere la estimada, la empresa de seguro directo deberá abonar la diferencia a la compañía reaseguradora, si ocurre lo contrario, será la compañía reaseguradora quien deberá satisfacer dicha diferencia a la entidad aseguradora cedente.

# 4. CONCLUSIONES

El desarrollo del presente trabajo ha demostrado que se puede modelizar las diferentes estrategias de reaseguro de una cartera real de seguros Temporales Anuales Renovables con el software libre R Commander y obtener los resultados de una forma más rápida y sencilla para la consiguiente toma de decisiones dentro de un departamento de una entidad de seguros.

En el proceso de extracción de datos para realizar la tarificación de los diferentes modelos de reaseguro, se ha observado como las primas puras anuales han experimentado un crecimiento interanual en cambio, las sumas aseguradas han ido en decremento de a medida que pasan los años. Esto, que a priori parece una incongruencia, se ha demostrado que ha sido causado por el incremento de la edad media de la cartera que pasa de 45.45 años en 2017 a 47.77 años en 2021.

Como es obvio, las primas de reaseguro también han ido en aumento año tras año debido a la evolución de las primas puras totales, en 2021 se obtienen unas primas de reaseguro cuota-parte con cuota de retención del 80% de 1,334,728.00 €. En el modelo de reaseguro de excedente con un pleno de retención de 125,000€ se obtienen unas primas de reaseguro de 1,242,529.00 €. Podemos concluir que, con estas dos políticas de reaseguro predeterminadas, la compañía reaseguradora se responsabilizaría de un riesgo mayor en el caso de contratar un reaseguro cuota-parte.

Se ha considerado que una buena forma de determinar el pleno de retención en un contrato de excedente es la de determinar la suma asegurada media de la cartera y fijarla como pleno de retención. Considerando esta política, la prima de reaseguro obtenida en 2021 ha sido de 1,621,230.00 €, un importe más elevado que el obtenido si se fijaba el pleno en 125,000 €. Este incremento viene provocado porque la suma asegurada media en el año 2021 ha sido de 105,801.50 €, una cuantía inferior a 125,000 € que significa una menor responsabilidad por parte de la compañía cedente y en consecuencia un incremento de la prima de reaseguro.

Graficar los resultados obtenidos generando muchos valores sobre una variable, en este caso sobre la cuota de retención y sobre el pleno de retención, permite realizar un análisis más global sobre la evolución de las primas de reaseguro teniendo en cuenta diferentes importes de los parámetros implícitos en los modelos de reaseguro.

Por una parte, en el caso del modelo cuota-parte, se puede observar la proporcionalidad perfecta y constante de la cuota de retención con las primas de reaseguro. Estas últimas decrecen de forma lineal en tanto que la cuota de retención aumenta.

En cambio, en el caso del modelo de reaseguro de excedentes, se observa un decrecimiento exponencial de las primas de reaseguro a medida que el pleno de retención va aumentando. La interpretación de esta dinámica es que, prevalecen las pólizas con sumas aseguradas pequeñas ya que la sensibilidad de las primas de reaseguro cuando el pleno de retención toma valores pequeños, es mucho más elevada que cuando este último toma valores más grandes.

Partiendo de la Teoría del Riesgo Individual, se ha podido evaluar la probabilidad de solvencia para cada uno de los modelos de reaseguro aplicados en el caso práctico. Con los resultados obtenidos para este apartado, podemos concluir que la cartera total sin aplicar ninguna política de reaseguro es solvente en un 94,78% asumiendo unas reservas de solvencia de 100,000€ y un recargo sobre la esperanza matemática del 25%.

Aplicando un cuota parte con una cuota de retención del 0.8, la probabilidad de insolvencia para la entidad cedente se reduce en un 0.30% y aplicando un contrato de excedentes con pleno de retención de 125,000€ se reduce aún más llegando al 97,70% de probabilidad de solvencia.

Formular un nuevo modelo de reaseguro era uno de los mayores propósitos de este trabajo, este modelo se ha podido definir como una modificación del contrato Excess-Loss, y consiste en mitigar los riesgos de incurrir en pérdidas mayores a las esperadas derivadas de los costes de la gestión de los siniestros, fijando una prioridad diferente para cada póliza y que coincide con la suma asegurada de esta. Estos costes se han definido como gastos judiciales y permiten que un siniestro de un seguro Temporal Anual Renovable supere el importe de la suma asegurada.

Se ha detectado que, los gastos asociados a los siniestros se van pagando conforme avanza el tiempo, es por eso por lo que se ha considerado necesario realizar un triángulo con las cuantías acumuladas de los últimos cinco años.  Aprovechando la disponibilidad de esta información, se han calculado los IBNR con la técnica de Chain-Ladder para poder identificar la cuantía total de los siniestros declarados durante esos mismos años a cargo del reasegurador, en caso de haber existido en tales ejercicios una cobertura de reaseguro análoga a la que se pretende aplicar.

Los siniestros declarados, en caso de haber existido una cobertura de reaseguro análoga a la que se pretende aplicar han sido de 837,998.7€ y aplicando la técnica del Burning Cost, se determina que la prima de reaseguro correspondiente al nuevo modelo de reaseguro aplicado es de 182,992€.

Esta prima abonada por parte de la compañía cedente permitirá a ésta despreocuparse de los gastos extraordinarios que puedan generar los siniestros.

# 5. BIBLIOGRAFIA


Boletín Oficial del estado (2017). *Resolución de 2 de enero de 2017, de la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones, por la que se publica el tipo de interés máximo a utilizar en el cálculo contable de la provisión de seguros de vida, de aplicación al ejercicio 2017.*

Boletín Oficial del estado (2018). *Resolución de 2 de enero de 2018, de la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones, por la que se publica el tipo de interés máximo a utilizar en el cálculo contable de la provisión de seguros de vida, de aplicación al ejercicio 2018.*

Boletín Oficial del estado (2019). *Resolución de 2 de enero de 2019, de la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones, por la que se publica el tipo de interés máximo a utilizar en el cálculo contable de la provisión de seguros de vida, de aplicación al ejercicio 2019.*

Boletín Oficial del estado (2020). *Resolución de 2 de enero de 2020, de la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones, por la que se publica el tipo de interés máximo a utilizar en el cálculo contable de la provisión de seguros de vida, de aplicación al ejercicio 2020.*

Boletín Oficial del Estado (2020). *Resolución de 17 de diciembre de 2020, de la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones, relativa a las tablas de mortalidad y supervivencia a utilizar por las entidades aseguradoras y reaseguradoras, y por la que se aprueba la guía técnica relativa a los criterios de supervisión en relación con las tablas biométricas, y sobre determinadas recomendaciones para fomentar la elaboración de estadísticas biométricas sectoriales.*

Boletín Oficial del estado (2021). *Resolución de 2 de enero de 2021, de la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones, por la que se publica el tipo de interés máximo a utilizar en el cálculo contable de la provisión de seguros de vida, de aplicación al ejercicio 2021.*

*Boj, E,. Claramunt, M., Costa, T. (2017): Provisión: Área de Trabajo en lenguaje R para el cálculo de provisiones técnicas en seguros no de vida con métodos deterministas. Deposito digital de la Universidad de Barcelona (España). Colección de materiales docentes (OMADO). http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/106653*

Cran.R-Project (2022), Introduction to data.table; 2021-09-22: *https://cran.r-project.org*

*De Morí, B. (1936): Contrato de Reaseguro. Roma.*

Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones (2020): *Publicación del Informe de Seguros y Fondos de Pensiones 2020.*

*Hernando de Larramendi, I. (2007): Clases de reaseguro*

Instituto Nacional de Estadística (2021). *Cálculo de variaciones del Índice de Precios de Consumo (sistema IPC base 2021). https://www.ine.es/varipc.*

*Ramella, M. (2017) Access to Insurance Initiative. A global programme for sound regulatory and supervisory frameworks. International Association of Insurance Supervisors (IAIS) -A2ii Consultation Call: 26 de enero de 2017. https://a2ii.org*

*Rincón, L. (2012) Departamento de Matemáticas. Facultad de Ciencias UNAM. Circuito Exterior de CU 04510. México DF. Introducción de la teoría del riesgo.*

*Sarrasi,F.J (2020): Máster en Ciencias Acturiales y Financieras, Asignatura Matemática del Seguro: WorkSpace Tablas de Mortalidad.rdata.*

*Sarrasí, F.J. (2003). Matemática del Reaseguro. Colección de publicaciones del departamento de matemática económica, financiera y actuarial. Universidad de Barcelona.*

# 6. ANEXOS

## 6.1. CODIGO EN R COMMANDER

```
install.packages("readxl")
install.packages("dplyr")
install.packages("tidyverse")
install.packages("lubridate")
install.packages("actuar")
install.packages("writexl")

library(readxl)
library(writexl)
library(data.table)
library(dplyr)
library(tidyverse)
library(lubridate)
library(actuar)

#IMPORTO DATOS DE DIRECTORIO
Polizas <-
read_excel("/Users/albertballarin/Desktop/Màster/TFM/BBDD/Polisses.xls
x") %>% as.data.table()
SINIESTROS <-
read_excel("/Users/albertballarin/Desktop/Màster/TFM/BBDD/SINISTRES.xl
sx") %>% as.data.table()

names(Polizas)= c("Ramo",                    "Poliza",
"Nombre Producto",          "Sexo",
                    "Fecha Nac. 1",         "Periodicidad Prima",
"Fecha efecto",             "F. Vencimiento",
                    "Prima Neta inicial",      "Prima Neta actual",
"Capital inicial Fallec", "FECHA",
                    "AÑO", "Capital", "Siniestro","Diferencia")

names(SINIESTROS)= c("Ram",                            "TIPO DE
PRODUCTO",               "Poliza",
 "Data sinistre",                 "año",
"Previsio?",
 "Pagaments any actual",          "Pagaments any anterior",
"Recobro Ejercicio Actual",
 "Recobro Ejercicio Anterior",     "Reserva",
"Reserva Ejercicio Anterior",
"Capital reassegurat obligatori", "Capital reassegurat facultatiu",
"Reassegurança",
 "Siniestro")

#CREO LA COLUMNA EDAD EN LA BASE DE DATOS POLIZAS
Polizas[,Fecha:= as_date(FECHA)]
Polizas[,FECHA_NAC:= as_date(`Fecha Nac. 1`)]
Polizas[, Edad:= year(Fecha)-year(FECHA_NAC),]

#CREO LA COLUMNA EDAD EN LA BASE DE DATOS DE SINIESTROS
#EN ESTAS DOS LINEAS COMPUEBO QUE EN LA BASE DE DATOS SINIESTROS HAY
POLIZAS QUE NO ESTAN EN LA BASE DE DATOS DE POLIZAS.
```

```
Polizas_F_Nac <- Polizas[,.(FECHA_NAC=min(FECHA_NAC)),by=.(Poliza)]
SINIESTROS<-left_join(SINIESTROS,Polizas_F_Nac,by="Poliza")

SINIESTROS[, Fecha_Sin:= as_date(`Data sinistre`)]
SINIESTROS[, EDAD:= year(Fecha_Sin)-year(FECHA_NAC)]
SINIESTROS[is.na(EDAD),EDAD:=0,]

#OBTENGO SOLO LOS SINIESTROS QUE ESTAN CONTEMPLADOS EN LA BASE DE
DATOS DE POLIZAS
SIN_17_21<- SINIESTROS[EDAD!=0,,]

#JUNTO POLIZAS CON SINIESTROS PARA VER AQUELLOS SINIESTROS QUE SUPERAN
EL CAPITAL PARA HACER EL REASEGURO QUE PROPUSIMOS
SINIESTROSG <- SIN_17_21[,.(Siniestro=sum(Siniestro)),by=.(Poliza)]
Polizas.Agrup <-
Polizas[,.(Capital=min(Capital),Edad=max(Edad),Sexo=min(Sexo)),by=.(Po
liza)]
BBDD<- left_join(Polizas.Agrup,SINIESTROSG,by="Poliza")
BBDD[is.na(Siniestro),Siniestro:=0,]

#Creo la columna "Diferencia" por la cual resta siniestros-capital, si
no hay siniestro, esta diferencia sera 0
BBDD[,Diferencia:=ifelse(Siniestro==0,0,Siniestro-Capital)]

#Base de datos con los siniestros que han superado el capital
SIN_CAP<-BBDD[Diferencia>0,,]
SIN_CAP[,Porcentaje:= Diferencia/Capital,]

#IBNR
#Datos total siniestros
#Datos con diferencia de cuantías donde siniestros superan capital
c0 <- c(110990.34,     17706.07,      9720.28,       1480.19, 140.33)
c1 <- c(128104.44,     30969.68,      227.61, 56.83)
c2 <- c(273217.18,     15273.66,      1663.71)
c3 <- c(118901.01,     20896.49)
c4 <- c(108650.90)


#Chain-Ladder
menuprovisio()
vpf <- ibnrchl(c(c0,c1,c2,c3,c4))

#Pagos siniestros por parte de reasguradora
AÑOS <- c ('2017', '2018', '2019','2020','2021')
SINIESTROS_CARGO_REASEGURADOR<- c (140037.2, 159358.6, 290154.5,
139797.5, 108650.9)
PAGOS_HIST_REAS <- data.table(AÑOS,SINIESTROS_CARGO_REASEGURADOR)
SD_SINIESTROS <- sd(SINIESTROS_CARGO_REASEGURADOR)

#CALCULO DE PRIMA PURA POR CADA AÑO
#Importo tablas de mortalidad
lpasem20 <- as.data.table(seq(from=0,to=120,by=1))
names(lpasem20)="Edad"
lpasem20[,lx_f:=lpasem20f2,]
lpasem20[,lx_m:=lpasem20m2,]
lpasem20[,lx:=lpasem20ux2$lpasem20ux2,]
lpasem20[,qx_f:= 1-(lx_f/lag(lx_f)),]
```

```
lpasem20[,qx_m:= 1-(lx_m/lag(lx_m)),]
lpasem20[,qx:= 1-(lx/lag(lx)),]
lpasem20[,px:= 1-qx,]
lpasem_join <- lpasem20[,.(Edad,qx_f,qx_m,qx,px)]

#SEPARO LAS POLIZAS POR AÑO
P2017 <- Polizas[AÑO == 2017,,]
P2018 <- Polizas[AÑO == 2018,,]
P2019 <- Polizas[AÑO == 2019,,]
P2020 <- Polizas[AÑO == 2020,,]
P2021 <- Polizas[AÑO == 2021,,]

#2017
P2017.qx<-left_join(P2017,lpasem_join,by="Edad")
Prim.2017 <- P2017.qx[,Prima:=Capital*qx]
Prima.Total.2017 <- sum(Prim.2017$Prima)
Media_Edat_2017 <- mean(Prim.2017$Edad)

#2018
P2018.qx<-left_join(P2018,lpasem_join,by="Edad")
Prim.2018 <- P2018.qx[,Prima:=Capital*qx]
Prima.Total.2018 <- sum(Prim.2018$Prima)
Media_Edat_2018 <- mean(Prim.2018$Edad)

#2019
P2019.qx<-left_join(P2019,lpasem_join,by="Edad")
Prim.2019 <- P2019.qx[,Prima:=Capital*qx]
Prima.Total.2019 <- sum(Prim.2019$Prima)
Media_Edat_2019 <- mean(Prim.2019$Edad)

#2020
P2020.qx<-left_join(P2020,lpasem_join,by="Edad")
Prim.2020 <- P2020.qx[,Prima:=Capital*qx]
Prima.Total.2020 <- sum(Prim.2020$Prima)
Media_Edat_2020 <- mean(Prim.2020$Edad)

#2021
P2021.qx<-left_join(P2021,lpasem_join,by="Edad")
Prim.2021 <- P2021.qx[,Prima:=Capital*qx]
Prima.Total.2021 <- sum(Prim.2021$Prima)
Media_Edat_2021 <- mean(Prim.2021$Edad)

#TABLA DE PRIMAS TOTALES POR AÑO
AÑOS <- c ('2017', '2018', '2019','2020','2021')
PRIMAS_ANUALES <- c (Prima.Total.2017, Prima.Total.2018,
Prima.Total.2019, Prima.Total.2020, Prima.Total.2021)
IPC <- c(1.050828222,  1.033797595,   1.026665773,   1.03,   1)
CAPITALES <- c(sum(Prim.2017$Capital), sum(Prim.2018$Capital),
sum(Prim.2019$Capital),sum(Prim.2020$Capital),sum(Prim.2021$Capital))
MEDIA_EDAD <-
c(Media_Edat_2017,Media_Edat_2018,Media_Edat_2019,Media_Edat_2020,Medi
a_Edat_2021)
PRIMAS_TOTALES <- data.table(AÑOS,MEDIA_EDAD,CAPITALES,PRIMAS_ANUALES,
IPC)
PRIMAS_TOTALES[,PRIMAS_ANUALES_INDEXADAS:=PRIMAS_ANUALES*IPC,]

#BURNING COST
```

```
Burning_cost <-
sum(SINIESTROS_CARGO_REASEGURADOR)/sum(PRIMAS_TOTALES$PRIMAS_ANUALES_I
NDEXADAS)
Burning_cost

#ESTIMACIÓN PRIMAS 2022
PRIMAS_TOTALES[,Crecimiento := (PRIMAS_ANUALES_INDEXADAS-
lag(PRIMAS_ANUALES_INDEXADAS))/lag(PRIMAS_ANUALES_INDEXADAS)*100]
CRECIMIENTO_MEDIO_PRIMAS<-
mean(PRIMAS_TOTALES[AÑOS>2017,,]$Crecimiento)
PRIMAS_ESTIMADAS_2022 <-
Prima.Total.2021*(1+CRECIMIENTO_MEDIO_PRIMAS/100)

#PRIMA DE REASEGURO XL MODIFICADO PRIMAS_ESTIMADAS_2022*Burning_cost+
desviacion de los datos
PRIMA_REASEGURO_XL_MOD <-
PRIMAS_ESTIMADAS_2022*Burning_cost+0.05*SD_SINIESTROS
PRIMA_REASEGURO_XL_MOD

##############################################################
#########  CÁLCULO DE PRIMA REASEGURO CUOTA PARTE  ###########
##############################################################
K<-0.8

#2017
I1_2017 <- 0.0109
#Prima Reasegurador
P2017.qx[, CR_CUOTA_PARTE:= (1-K)*Capital,]
Prim_Reas_CP_2017 <-
P2017.qx[,Prima_Reasegurador:=ifelse(Sexo=="M",CR_CUOTA_PARTE*qx_m*((1
+I1_2017)^-0.5),CR_CUOTA_PARTE*qx_f*((1+I1_2017)^-0.5)),]
Prim_Reas_CP_2017 <- sum(Prim_Reas_CP_2017$Prima_Reasegurador)

#Prima_Retenida
P2017.qx[, Cap_Retenido_CUOTA_PARTE:= K*Capital,]
Prim_Ced_CP_2017 <-
P2017.qx[,Prima_Cedente:=ifelse(Sexo=="M",Cap_Retenido_CUOTA_PARTE*qx_
m*((1+I1_2017)^-0.5),Cap_Retenido_CUOTA_PARTE*qx_f*((1+I1_2017)^-
0.5)),]
Prim_Ced_CP_2017 <- sum(Prim_Ced_CP_2017$Prima_Cedente)

#2018
I1_2018 <- 0.0098
#Prima Reasegurador
P2018.qx[, CR_CUOTA_PARTE:= (1-K)*Capital,]
Prim_Reas_CP_2018 <-
P2018.qx[,Prima_Reasegurador:=ifelse(Sexo=="M",CR_CUOTA_PARTE*qx_m*((1
+I1_2018)^-0.5),CR_CUOTA_PARTE*qx_f*((1+I1_2018)^-0.5)),]
Prim_Reas_CP_2018 <- sum(Prim_Reas_CP_2018$Prima_Reasegurador)

#Prima_Retenida
P2018.qx[, Cap_Retenido_CUOTA_PARTE:= K*Capital,]
Prim_Ced_CP_2018 <-
P2018.qx[,Prima_Cedente:=ifelse(Sexo=="M",Cap_Retenido_CUOTA_PARTE*qx_
m*((1+I1_2018)^-0.5),Cap_Retenido_CUOTA_PARTE*qx_f*((1+I1_2018)^-
0.5)),]
Prim_Ced_CP_2018 <- sum(Prim_Ced_CP_2018$Prima_Cedente)
```

```
#2019

I1_2019 <- 0.0098
#Prima Reasegurador
P2019.qx[, CR_CUOTA_PARTE:= (1-K)*Capital,]
Prim_Reas_CP_2019 <-
P2019.qx[,Prima_Reasegurador:=ifelse(Sexo=="M",CR_CUOTA_PARTE*qx_m*((1
+I1_2019)^-0.5),CR_CUOTA_PARTE*qx_f*((1+I1_2019)^-0.5)),]
Prim_Reas_CP_2019 <- sum(Prim_Reas_CP_2019$Prima_Reasegurador)

#Prima_Retenida
P2019.qx[, Cap_Retenido_CUOTA_PARTE:= K*Capital,]
Prim_Ced_CP_2019 <-
P2019.qx[,Prima_Cedente:=ifelse(Sexo=="M",Cap_Retenido_CUOTA_PARTE*qx_
m*((1+I1_2019)^-0.5),Cap_Retenido_CUOTA_PARTE*qx_f*((1+I1_2019)^-
0.5)),]
Prim_Ced_CP_2019 <- sum(Prim_Ced_CP_2019$Prima_Cedente)

#2020

I1_2020 <- 0.0059

#Prima Reasegurador
P2020.qx[, CR_CUOTA_PARTE:= (1-K)*Capital,]
Prim_Reas_CP_2020 <-
P2020.qx[,Prima_Reasegurador:=ifelse(Sexo=="M",CR_CUOTA_PARTE*qx_m*((1
+I1_2020)^-0.5),CR_CUOTA_PARTE*qx_f*((1+I1_2020)^-0.5)),]
Prim_Reas_CP_2020 <- sum(Prim_Reas_CP_2020$Prima_Reasegurador)

#Prima_Retenida
P2020.qx[, Cap_Retenido_CUOTA_PARTE:= K*Capital,]
Prim_Ced_CP_2020 <-
P2020.qx[,Prima_Cedente:=ifelse(Sexo=="M",Cap_Retenido_CUOTA_PARTE*qx_
m*((1+I1_2020)^-0.5),Cap_Retenido_CUOTA_PARTE*qx_f*((1+I1_2020)^-
0.5)),]
Prim_Ced_CP_2020 <- sum(Prim_Ced_CP_2020$Prima_Cedente)

#2021
I1_2021 <- 0.0054
#Prima Reasegurador
P2021.qx[, CR_CUOTA_PARTE:= (1-K)*Capital,]
Prim_Reas_CP_2021 <-
P2021.qx[,Prima_Reasegurador:=ifelse(Sexo=="M",CR_CUOTA_PARTE*qx_m*((1
+I1_2021)^-0.5),CR_CUOTA_PARTE*qx_f*((1+I1_2021)^-0.5)),]
Prim_Reas_CP_2021 <- sum(Prim_Reas_CP_2021$Prima_Reasegurador)

#Prima_Retenida
P2021.qx[, Cap_Retenido_CUOTA_PARTE:= K*Capital,]
Prim_Ced_CP_2021 <-
P2021.qx[,Prima_Cedente:=ifelse(Sexo=="M",Cap_Retenido_CUOTA_PARTE*qx_
m*((1+I1_2021)^-0.5),Cap_Retenido_CUOTA_PARTE*qx_f*((1+I1_2021)^-
0.5)),]
Prim_Ced_CP_2021 <- sum(Prim_Ced_CP_2021$Prima_Cedente)

#RESUMEN
```

```
PRIMAS_REASEGURO_CP <-
c(Prim_Reas_CP_2017,Prim_Reas_CP_2018,Prim_Reas_CP_2019,Prim_Reas_CP_2
020,Prim_Reas_CP_2021)
TABLA_PRIMAS_REASEGURO_CP <- as.data.table(AÑOS)
TABLA_PRIMAS_REASEGURO_CP[,Primas_Reaseguro:=PRIMAS_REASEGURO_CP,]

CAPITAL_REASEGURO_CP <- c(sum(P2017.qx$CR_CUOTA_PARTE),
sum(P2018.qx$CR_CUOTA_PARTE), sum(P2019.qx$CR_CUOTA_PARTE),
sum(P2020.qx$CR_CUOTA_PARTE), sum(P2021.qx$CR_CUOTA_PARTE))
CAPITAL_RETENIDO_CP <- c(sum(P2017.qx$Cap_Retenido_CUOTA_PARTE),
sum(P2018.qx$Cap_Retenido_CUOTA_PARTE),sum(P2019.qx$Cap_Retenido_CUOTA
_PARTE),
sum(P2020.qx$Cap_Retenido_CUOTA_PARTE),sum(P2021.qx$Cap_Retenido_CUOTA
_PARTE))
TABLA_CAPITALES_REASEGURO_CP <- as.data.table(AÑOS)
TABLA_CAPITALES_REASEGURO_CP[,Capital_Reaseguro:=CAPITAL_REASEGURO_CP,
]
TABLA_CAPITALES_REASEGURO_CP[,Capital_Retenido:=CAPITAL_RETENIDO_CP,]

##GRAFICO 2017
k_vector <- seq(0,1,0.01)
P2017.Grafico <- P2017.qx[,.(Poliza, Capital,Sexo,qx_m,qx_f)]
for(x in k_vector){
  P2017.Grafico[,paste0("Prima_Reasegurador",x):=ifelse(Sexo=="M",(1-
x)*P2017.Grafico$Capital*P2017.Grafico$qx_m*((1+I1_2017)^-0.5),(1-
x)*P2017.Grafico$Capital*P2017.Grafico$qx_f*((1+I1_2017)^-0.5)),]
}

Vector_Primas_CP_Grafico_2017<-
as.vector(colSums(P2017.Grafico[,5:105]))
Grafico_CP_2017 <- plot(k_vector,Vector_Primas_CP_Grafico_2017, main =
"Primas de reaseguro para cada k año 2017",xlab = "Cuota de
Retención",ylab = "Primas Reaseguro 2017")
Grafico_CP_2017

##GRAFICO 2021
k_vector <- seq(0,1,0.01)
P2021.Grafico <- P2021.qx[,.(Capital,Sexo,qx_m,qx_f)]
for(x in k_vector){
  P2021.Grafico[,paste0("Prima_Reasegurador",x):=ifelse(Sexo=="M",((1-
x)*P2021.Grafico$Capital)*qx_m*((1+I1_2021)^-0.5),((1-
x)*P2021.Grafico$Capital)*qx_f*((1+I1_2021)^-0.5)),]
}

Vector_Primas_CP_Grafico_2021<-
as.vector(colSums(P2021.Grafico[,5:105]))
Grafico_CP_2021 <- plot(k_vector,Vector_Primas_CP_Grafico_2021,main =
"Primas de reaseguro para cada k año 2021",xlab = "Cuota de
Retención",ylab = "Primas Reaseguro 2021")
Grafico_CP_2021

###################################################################
#########  CÁLCULO DE PRIMA REASEGURO EXCEDENTES SIMPLE ###########
###################################################################

M <- 125000
```

```
#2017

#PRIMA DE REASEGURO
P2017.qx[, CR_EXCEDENTES:=ifelse(Capital-M<0,0,Capital-M),]
P2017.qx[, K_EXCEDENTES:=1-CR_EXCEDENTES/Capital,]
Prim_Exc_2017 <-
P2017.qx[,Prima_Reasegurador_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",CR_EXCEDENTE
S*qx_m*((1+I1_2017)^-0.5),CR_EXCEDENTES*qx_f*((1+I1_2017)^-0.5))]
Prim_Exc_2017 <- sum(Prim_Exc_2017$Prima_Reasegurador_Excedentes)

#PRIMA RETENIDA CEDENTE
P2017.qx[, Cap_Retenido_Excedente:= K_EXCEDENTES*Capital,]
Prim_Ced_EXC_2017 <-
P2017.qx[,Prima_Cedente_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",Cap_Retenido_Exce
dente*qx_m*((1+I1_2017)^-
0.5),Cap_Retenido_Excedente*qx_f*((1+I1_2017)^-0.5)),]
Prim_Ced_EXC_2017 <- sum(Prim_Ced_EXC_2017$Prima_Cedente_Excedentes)

k_media_2017 <- mean(P2017.qx$K_EXCEDENTES)

#2018

#PRIMA DE REASEGURO
P2018.qx[, CR_EXCEDENTES:=ifelse(Capital-M<0,0,Capital-M),]
P2018.qx[, K_EXCEDENTES:=1-CR_EXCEDENTES/Capital,]
Prim_Exc_2018 <-
P2018.qx[,Prima_Reasegurador_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",CR_EXCEDENTE
S*qx_m*((1+I1_2018)^-0.5),CR_EXCEDENTES*qx_f*((1+I1_2018)^-0.5))]
Prim_Exc_2018 <- sum(Prim_Exc_2018$Prima_Reasegurador_Excedentes)

#PRIMA RETENIDA CEDENTE
P2018.qx[, Cap_Retenido_Excedente:= K_EXCEDENTES*Capital,]
Prim_Ced_EXC_2018 <-
P2018.qx[,Prima_Cedente_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",Cap_Retenido_Exce
dente*qx_m*((1+I1_2018)^-
0.5),Cap_Retenido_Excedente*qx_f*((1+I1_2018)^-0.5)),]
Prim_Ced_EXC_2018 <- sum(Prim_Ced_EXC_2018$Prima_Cedente_Excedentes)

k_media_2018 <- mean(P2018.qx$K_EXCEDENTES)

#2019

#PRIMA DE REASEGURO
P2019.qx[, CR_EXCEDENTES:=ifelse(Capital-M<0,0,Capital-M),]
P2019.qx[, K_EXCEDENTES:=1-CR_EXCEDENTES/Capital,]
Prim_Exc_2019 <-
P2019.qx[,Prima_Reasegurador_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",CR_EXCEDENTE
S*qx_m*((1+I1_2019)^-0.5),CR_EXCEDENTES*qx_f*((1+I1_2019)^-0.5))]
Prim_Exc_2019 <- sum(Prim_Exc_2019$Prima_Reasegurador_Excedentes)

#PRIMA RETENIDA CEDENTE
P2019.qx[, Cap_Retenido_Excedente:= K_EXCEDENTES*Capital,]
Prim_Ced_EXC_2019 <-
P2019.qx[,Prima_Cedente_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",Cap_Retenido_Exce
dente*qx_m*((1+I1_2019)^-
0.5),Cap_Retenido_Excedente*qx_f*((1+I1_2019)^-0.5)),]
Prim_Ced_EXC_2019 <- sum(Prim_Ced_EXC_2019$Prima_Cedente_Excedentes)
```

```
k_media_2019 <- mean(P2019.qx$K_EXCEDENTES)

#2020

#PRIMA DE REASEGURO
P2020.qx[, CR_EXCEDENTES:=ifelse(Capital-M<0,0,Capital-M),]
P2020.qx[, K_EXCEDENTES:=1-CR_EXCEDENTES/Capital,]
Prim_Exc_2020 <-
P2020.qx[,Prima_Reasegurador_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",CR_EXCEDENTE
S*qx_m*((1+I1_2020)^-0.5),CR_EXCEDENTES*qx_f*((1+I1_2020)^-0.5))]
Prim_Exc_2020 <- sum(Prim_Exc_2020$Prima_Reasegurador_Excedentes)

#PRIMA RETENIDA CEDENTE
P2020.qx[, Cap_Retenido_Excedente:= K_EXCEDENTES*Capital,]
Prim_Ced_EXC_2020 <-
P2020.qx[,Prima_Cedente_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",Cap_Retenido_Exce
dente*qx_m*((1+I1_2020)^-
0.5),Cap_Retenido_Excedente*qx_f*((1+I1_2020)^-0.5)),]
Prim_Ced_EXC_2020 <- sum(Prim_Ced_EXC_2020$Prima_Cedente_Excedentes)

k_media_2020 <- mean(P2020.qx$K_EXCEDENTES)

#2021

#PRIMA DE REASEGURO
P2021.qx[, CR_EXCEDENTES:=ifelse(Capital-M<0,0,Capital-M),]
P2021.qx[, K_EXCEDENTES:=1-CR_EXCEDENTES/Capital,]
Prim_Exc_2021 <-
P2021.qx[,Prima_Reasegurador_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",CR_EXCEDENTE
S*qx_m*((1+I1_2021)^-0.5),CR_EXCEDENTES*qx_f*((1+I1_2021)^-0.5))]
Prim_Exc_2021 <- sum(Prim_Exc_2021$Prima_Reasegurador_Excedentes)

#PRIMA RETENIDA CEDENTE
P2021.qx[, Cap_Retenido_Excedente:= K_EXCEDENTES*Capital,]
Prim_Ced_EXC_2021 <-
P2021.qx[,Prima_Cedente_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",Cap_Retenido_Exce
dente*qx_m*((1+I1_2021)^-
0.5),Cap_Retenido_Excedente*qx_f*((1+I1_2021)^-0.5)),]
Prim_Ced_EXC_2021 <- sum(Prim_Ced_EXC_2021$Prima_Cedente_Excedentes)

k_media_2021 <- mean(P2021.qx$K_EXCEDENTES)

#RESUMEN
PRIMAS_REASEGURO_EXC <-
c(Prim_Exc_2017,Prim_Exc_2018,Prim_Exc_2019,Prim_Exc_2020,Prim_Exc_202
1)
TABLA_PRIMAS_REASEGURO_EXC <- as.data.table(AÑOS)
TABLA_PRIMAS_REASEGURO_EXC[,Primas_Reaseguro:=PRIMAS_REASEGURO_EXC,]

CAPITAL_REASEGURO_EXC <- c(sum(P2017.qx$CR_EXCEDENTES),
sum(P2018.qx$CR_EXCEDENTES), sum(P2019.qx$CR_EXCEDENTES),
sum(P2020.qx$CR_EXCEDENTES), sum(P2021.qx$CR_EXCEDENTES))
CAPITAL_RETENIDO_EXC <- c(sum(P2017.qx$Cap_Retenido_Excedente),
sum(P2018.qx$Cap_Retenido_Excedente),sum(P2019.qx$Cap_Retenido_Exceden
te),
```

```
sum(P2020.qx$Cap_Retenido_Excedente),sum(P2021.qx$Cap_Retenido_Exceden
te))
TABLA_CAPITALES_REASEGURO_EXC <- as.data.table(AÑOS)
TABLA_CAPITALES_REASEGURO_EXC[,Capital_Reaseguro:=CAPITAL_REASEGURO_EX
C,]
TABLA_CAPITALES_REASEGURO_EXC[,Capital_Retenido:=CAPITAL_RETENIDO_EXC,
]

k_media_TOTAL <-
mean(k_media_2017,k_media_2018,k_media_2019,k_media_2020,k_media_2021)

#GRAFICO 2017

M_vector <- seq(0,500000,10000)
P2017.Grafico <- P2017.qx[,.(Capital,Sexo,qx_m,qx_f)]
for(x in M_vector){

P2017.Grafico[,paste0("Prima_Reasegurador",x):=ifelse(Sexo=="M",ifelse
(P2017.Grafico$Capital-x<0,0,P2017.Grafico$Capital-
x)*qx_m*((1+I1_2021)^-0.5),ifelse(P2017.Grafico$Capital-
x<0,0,P2017.Grafico$Capital-x)*qx_f*((1+I1_2021)^-0.5))]
}

Vector_Primas_Exc_Grafico_2017<-
as.vector(colSums(P2017.Grafico[,5:55]))
Grafico_Exc_2017 <- plot(M_vector,Vector_Primas_Exc_Grafico_2017,main
= "Primas de reaseguro para cada pleno de retención, año 2017",xlab =
"Pleno de retención",ylab = "Primas Reaseguro 2017")
Grafico_Exc_2017

#GRAFICO 2021

M_vector <- seq(0,500000,10000)
P2021.Grafico <- P2021.qx[,.(Capital,Sexo,qx_m,qx_f)]
for(x in M_vector){

P2021.Grafico[,paste0("Prima_Reasegurador",x):=ifelse(Sexo=="M",ifelse
(P2021.Grafico$Capital-x<0,0,P2021.Grafico$Capital-
x)*qx_m*((1+I1_2021)^-0.5),ifelse(P2021.Grafico$Capital-
x<0,0,P2021.Grafico$Capital-x)*qx_f*((1+I1_2021)^-0.5))]
}

Vector_Primas_Exc_Grafico_2021<-
as.vector(colSums(P2021.Grafico[,5:55]))
Grafico_Exc_2021 <- plot(M_vector,Vector_Primas_Exc_Grafico_2021,main
= "Primas de reaseguro para cada pleno de retención, año 2021",xlab =
"Pleno de retención",ylab = "Primas Reaseguro 2021")
Grafico_Exc_2021

######################################################################
########################
#########  CÁLCULO DE PRIMA REASEGURO EXCEDENTES PLENO = MEDIA DE
SUMAS ASEGURADAS ###########
######################################################################
########################

#2017
```

```
M_2017 <- mean(P2017.qx$Capital)

#PRIMA DE REASEGURO
P2017.qx[, CR_EXCEDENTES:=ifelse(Capital-M_2017<0,0,Capital-M_2017),]
P2017.qx[, K_EXCEDENTES:=1-CR_EXCEDENTES/Capital,]
Prim_Exc_2017 <-
P2017.qx[,Prima_Reasegurador_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",CR_EXCEDENTE
S*qx_m*((1+I1_2017)^-0.5),CR_EXCEDENTES*qx_f*((1+I1_2017)^-0.5))]
Prim_Exc_2017 <- sum(Prim_Exc_2017$Prima_Reasegurador_Excedentes)

#PRIMA RETENIDA CEDENTE
P2017.qx[, Cap_Retenido_Excedente:= K_EXCEDENTES*Capital,]
Prim_Ced_EXC_2017 <-
P2017.qx[,Prima_Cedente_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",Cap_Retenido_Exce
dente*qx_m*((1+I1_2017)^-
0.5),Cap_Retenido_Excedente*qx_f*((1+I1_2017)^-0.5)),]
Prim_Ced_EXC_2017 <- sum(Prim_Ced_EXC_2017$Prima_Cedente_Excedentes)

k_media_2017 <- mean(P2017.qx$K_EXCEDENTES)

#2018

M_2018 <- mean(P2018.qx$Capital)

#PRIMA DE REASEGURO
P2018.qx[, CR_EXCEDENTES:=ifelse(Capital-M_2018<0,0,Capital-M_2018),]
P2018.qx[, K_EXCEDENTES:=1-CR_EXCEDENTES/Capital,]
Prim_Exc_2018 <-
P2018.qx[,Prima_Reasegurador_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",CR_EXCEDENTE
S*qx_m*((1+I1_2018)^-0.5),CR_EXCEDENTES*qx_f*((1+I1_2018)^-0.5))]
Prim_Exc_2018 <- sum(Prim_Exc_2018$Prima_Reasegurador_Excedentes)

#PRIMA RETENIDA CEDENTE
P2018.qx[, Cap_Retenido_Excedente:= K_EXCEDENTES*Capital,]
Prim_Ced_EXC_2018 <-
P2018.qx[,Prima_Cedente_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",Cap_Retenido_Exce
dente*qx_m*((1+I1_2018)^-
0.5),Cap_Retenido_Excedente*qx_f*((1+I1_2018)^-0.5)),]
Prim_Ced_EXC_2018 <- sum(Prim_Ced_EXC_2018$Prima_Cedente_Excedentes)

k_media_2018 <- mean(P2018.qx$K_EXCEDENTES)

#2019

M_2019 <- mean(P2019.qx$Capital)

#PRIMA DE REASEGURO
P2019.qx[, CR_EXCEDENTES:=ifelse(Capital-M_2019<0,0,Capital-M_2019),]
P2019.qx[, K_EXCEDENTES:=1-CR_EXCEDENTES/Capital,]
Prim_Exc_2019 <-
P2019.qx[,Prima_Reasegurador_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",CR_EXCEDENTE
S*qx_m*((1+I1_2019)^-0.5),CR_EXCEDENTES*qx_f*((1+I1_2019)^-0.5))]
Prim_Exc_2019 <- sum(Prim_Exc_2019$Prima_Reasegurador_Excedentes)

#PRIMA RETENIDA CEDENTE
P2019.qx[, Cap_Retenido_Excedente:= K_EXCEDENTES*Capital,]
```

```
Prim_Ced_EXC_2019 <-
P2019.qx[,Prima_Cedente_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",Cap_Retenido_Exce
dente*qx_m*((1+I1_2019)^-
0.5),Cap_Retenido_Excedente*qx_f*((1+I1_2019)^-0.5)),]
Prim_Ced_EXC_2019 <- sum(Prim_Ced_EXC_2019$Prima_Cedente_Excedentes)

k_media_2019 <- mean(P2019.qx$K_EXCEDENTES)

#2020

M_2020 <- mean(P2020.qx$Capital)

#PRIMA DE REASEGURO
P2020.qx[, CR_EXCEDENTES:=ifelse(Capital-M_2020<0,0,Capital-M_2020),]
P2020.qx[, K_EXCEDENTES:=1-CR_EXCEDENTES/Capital,]
Prim_Exc_2020 <-
P2020.qx[,Prima_Reasegurador_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",CR_EXCEDENTE
S*qx_m*((1+I1_2020)^-0.5),CR_EXCEDENTES*qx_f*((1+I1_2020)^-0.5))]
Prim_Exc_2020 <- sum(Prim_Exc_2020$Prima_Reasegurador_Excedentes)

#PRIMA RETENIDA CEDENTE
P2020.qx[, Cap_Retenido_Excedente:= K_EXCEDENTES*Capital,]
Prim_Ced_EXC_2020 <-
P2020.qx[,Prima_Cedente_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",Cap_Retenido_Exce
dente*qx_m*((1+I1_2020)^-
0.5),Cap_Retenido_Excedente*qx_f*((1+I1_2020)^-0.5)),]
Prim_Ced_EXC_2020 <- sum(Prim_Ced_EXC_2020$Prima_Cedente_Excedentes)

k_media_2020 <- mean(P2020.qx$K_EXCEDENTES)

#2021

M_2021 <- mean(P2021.qx$Capital)

#PRIMA DE REASEGURO
P2021.qx[, CR_EXCEDENTES:=ifelse(Capital-M_2021<0,0,Capital-M_2021),]
P2021.qx[, K_EXCEDENTES:=1-CR_EXCEDENTES/Capital,]
Prim_Exc_2021 <-
P2021.qx[,Prima_Reasegurador_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",CR_EXCEDENTE
S*qx_m*((1+I1_2021)^-0.5),CR_EXCEDENTES*qx_f*((1+I1_2021)^-0.5))]
Prim_Exc_2021 <- sum(Prim_Exc_2021$Prima_Reasegurador_Excedentes)

#PRIMA RETENIDA CEDENTE
P2021.qx[, Cap_Retenido_Excedente:= K_EXCEDENTES*Capital,]
Prim_Ced_EXC_2021 <-
P2021.qx[,Prima_Cedente_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",Cap_Retenido_Exce
dente*qx_m*((1+I1_2021)^-
0.5),Cap_Retenido_Excedente*qx_f*((1+I1_2021)^-0.5)),]
Prim_Ced_EXC_2021 <- sum(Prim_Ced_EXC_2021$Prima_Cedente_Excedentes)

k_media_2021 <- mean(P2021.qx$K_EXCEDENTES)

#RESUMEN
Plenos_Retención <- c(M_2017,M_2018,M_2019,M_2020,M_2021)
PRIMAS_REASEGURO_EXC <-
c(Prim_Exc_2017,Prim_Exc_2018,Prim_Exc_2019,Prim_Exc_2020,Prim_Exc_202
1)
```

```
TABLA_PRIMAS_REASEGURO_EXC <- as.data.table(AÑOS)
TABLA_PRIMAS_REASEGURO_EXC[,Pleno_Retención:=Plenos_Retención,]
TABLA_PRIMAS_REASEGURO_EXC[,Primas_Reaseguro:=PRIMAS_REASEGURO_EXC,]

CAPITAL_REASEGURO_EXC <- c(sum(P2017.qx$CR_EXCEDENTES),
sum(P2018.qx$CR_EXCEDENTES), sum(P2019.qx$CR_EXCEDENTES),
sum(P2020.qx$CR_EXCEDENTES), sum(P2021.qx$CR_EXCEDENTES))
CAPITAL_RETENIDO_EXC <- c(sum(P2017.qx$Cap_Retenido_Excedente),
sum(P2018.qx$Cap_Retenido_Excedente),sum(P2019.qx$Cap_Retenido_Exceden
te),
sum(P2020.qx$Cap_Retenido_Excedente),sum(P2021.qx$Cap_Retenido_Exceden
te))
TABLA_CAPITALES_REASEGURO_EXC <- as.data.table(AÑOS)
TABLA_CAPITALES_REASEGURO_EXC[,Capital_Reaseguro:=CAPITAL_REASEGURO_EX
C,]
TABLA_CAPITALES_REASEGURO_EXC[,Capital_Retenido:=CAPITAL_RETENIDO_EXC,
]

k_media_TOTAL <-
mean(k_media_2017,k_media_2018,k_media_2019,k_media_2020,k_media_2021)

######################################################################
####
#########  CÁLCULO DE PRIMA REASEGURO EXCEDENTES CON CAPACIDAD
###########
######################################################################
####

M1 <- 125000
M2 <- 3*M1

#2017

#PRIMA RETENIDA CEDENTE
Prim_Ced_EXC_2017_Capcidad <- P2017.qx[, Cap_Retenido_Excedente:=
ifelse(Capital>M1,M1,Capital),]
Prim_Ced_EXC_2017_Capcidad <-
P2017.qx[,Prima_Cedente_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",Cap_Retenido_Exce
dente*qx_m*((1+I1_2017)^-
0.5),Cap_Retenido_Excedente*qx_f*((1+I1_2017)^-0.5)),]
Cap_Retenido_Excedente_2017 <-
sum(Prim_Ced_EXC_2017_Capcidad$Cap_Retenido_Excedente)
Prim_Ced_EXC_2017_Capcidad <-
sum(Prim_Ced_EXC_2017_Capcidad$Prima_Cedente_Excedentes)


#PRIMA DE REASEGURO
Prim_Exc_2017_Capacidad <- P2017.qx[,
CR_PRIMER_EXCEDENTES:=ifelse(Capital-M1<0,0,ifelse(Capital-
M1>M2,M2,Capital-M1)),]
Prim_Exc_2017_Capacidad <- P2017.qx[, CR_SEGUNDO_EXCEDENTES:=Capital-
Cap_Retenido_Excedente-CR_PRIMER_EXCEDENTES,]
Prim_Exc_2017_Capacidad <-
P2017.qx[,Prima_Reasegurador_1er_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",CR_PRIME
R_EXCEDENTES*qx_m*((1+I1_2017)^-
0.5),CR_PRIMER_EXCEDENTES*qx_f*((1+I1_2017)^-0.5))]
```

```
Prim_Exc_2017_Capacidad <-
P2017.qx[,Prima_Reasegurador_2o_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",CR_SEGUND
O_EXCEDENTES*qx_m*((1+I1_2017)^-
0.5),CR_SEGUNDO_EXCEDENTES*qx_f*((1+I1_2017)^-0.5))]
Prim_Exc_2017_1er_Excedentes <-
sum(Prim_Exc_2017_Capacidad$Prima_Reasegurador_1er_Excedentes)
Prim_Exc_2017_2o_Excedentes <-
sum(Prim_Exc_2017_Capacidad$Prima_Reasegurador_2o_Excedentes)
Cap_1er_Excedente_2017 <-
sum(Prim_Exc_2017_Capacidad$CR_PRIMER_EXCEDENTES)
Cap_2o_Excedente_2017 <-
sum(Prim_Exc_2017_Capacidad$CR_SEGUNDO_EXCEDENTES)

#2018

#PRIMA RETENIDA CEDENTE
Prim_Ced_EXC_2018_Capcidad <- P2018.qx[, Cap_Retenido_Excedente:=
ifelse(Capital>M1,M1,Capital),]
Prim_Ced_EXC_2018_Capcidad <-
P2018.qx[,Prima_Cedente_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",Cap_Retenido_Exce
dente*qx_m*((1+I1_2018)^-
0.5),Cap_Retenido_Excedente*qx_f*((1+I1_2018)^-0.5)),]
Cap_Retenido_Excedente_2018 <-
sum(Prim_Ced_EXC_2018_Capcidad$Cap_Retenido_Excedente)
Prim_Ced_EXC_2018_Capcidad <-
sum(Prim_Ced_EXC_2018_Capcidad$Prima_Cedente_Excedentes)


#PRIMA DE REASEGURO
Prim_Exc_2018_Capacidad <- P2018.qx[,
CR_PRIMER_EXCEDENTES:=ifelse(Capital-M1<0,0,ifelse(Capital-
M1>M2,M2,Capital-M1)),]
Prim_Exc_2018_Capacidad <- P2018.qx[, CR_SEGUNDO_EXCEDENTES:=Capital-
Cap_Retenido_Excedente-CR_PRIMER_EXCEDENTES,]
Prim_Exc_2018_Capacidad <-
P2018.qx[,Prima_Reasegurador_1er_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",CR_PRIME
R_EXCEDENTES*qx_m*((1+I1_2018)^-
0.5),CR_PRIMER_EXCEDENTES*qx_f*((1+I1_2018)^-0.5))]
Prim_Exc_2018_Capacidad <-
P2018.qx[,Prima_Reasegurador_2o_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",CR_SEGUND
O_EXCEDENTES*qx_m*((1+I1_2018)^-
0.5),CR_SEGUNDO_EXCEDENTES*qx_f*((1+I1_2018)^-0.5))]
Prim_Exc_2018_1er_Excedentes <-
sum(Prim_Exc_2018_Capacidad$Prima_Reasegurador_1er_Excedentes)
Prim_Exc_2018_2o_Excedentes <-
sum(Prim_Exc_2018_Capacidad$Prima_Reasegurador_2o_Excedentes)
Cap_1er_Excedente_2018 <-
sum(Prim_Exc_2018_Capacidad$CR_PRIMER_EXCEDENTES)
Cap_2o_Excedente_2018 <-
sum(Prim_Exc_2018_Capacidad$CR_SEGUNDO_EXCEDENTES)


#2019

#PRIMA RETENIDA CEDENTE
Prim_Ced_EXC_2019_Capcidad <- P2019.qx[, Cap_Retenido_Excedente:=
ifelse(Capital>M1,M1,Capital),]
```

```
Prim_Ced_EXC_2019_Capcidad <-
P2019.qx[,Prima_Cedente_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",Cap_Retenido_Exce
dente*qx_m*((1+I1_2019)^-
0.5),Cap_Retenido_Excedente*qx_f*((1+I1_2019)^-0.5)),]
Cap_Retenido_Excedente_2019 <-
sum(Prim_Ced_EXC_2019_Capcidad$Cap_Retenido_Excedente)
Prim_Ced_EXC_2019_Capcidad <-
sum(Prim_Ced_EXC_2019_Capcidad$Prima_Cedente_Excedentes)


#PRIMA DE REASEGURO
Prim_Exc_2019_Capacidad <- P2019.qx[,
CR_PRIMER_EXCEDENTES:=ifelse(Capital-M1<0,0,ifelse(Capital-
M1>M2,M2,Capital-M1)),]
Prim_Exc_2019_Capacidad <- P2019.qx[, CR_SEGUNDO_EXCEDENTES:=Capital-
Cap_Retenido_Excedente-CR_PRIMER_EXCEDENTES,]
Prim_Exc_2019_Capacidad <-
P2019.qx[,Prima_Reasegurador_1er_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",CR_PRIME
R_EXCEDENTES*qx_m*((1+I1_2019)^-
0.5),CR_PRIMER_EXCEDENTES*qx_f*((1+I1_2019)^-0.5))]
Prim_Exc_2019_Capacidad <-
P2019.qx[,Prima_Reasegurador_2o_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",CR_SEGUND
O_EXCEDENTES*qx_m*((1+I1_2019)^-
0.5),CR_SEGUNDO_EXCEDENTES*qx_f*((1+I1_2019)^-0.5))]
Prim_Exc_2019_1er_Excedentes <-
sum(Prim_Exc_2019_Capacidad$Prima_Reasegurador_1er_Excedentes)
Prim_Exc_2019_2o_Excedentes <-
sum(Prim_Exc_2019_Capacidad$Prima_Reasegurador_2o_Excedentes)
Cap_1er_Excedente_2019 <-
sum(Prim_Exc_2019_Capacidad$CR_PRIMER_EXCEDENTES)
Cap_2o_Excedente_2019 <-
sum(Prim_Exc_2019_Capacidad$CR_SEGUNDO_EXCEDENTES)


#2020

#PRIMA RETENIDA CEDENTE
Prim_Ced_EXC_2020_Capcidad <- P2020.qx[, Cap_Retenido_Excedente:=
ifelse(Capital>M1,M1,Capital),]
Prim_Ced_EXC_2020_Capcidad <-
P2020.qx[,Prima_Cedente_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",Cap_Retenido_Exce
dente*qx_m*((1+I1_2020)^-
0.5),Cap_Retenido_Excedente*qx_f*((1+I1_2020)^-0.5)),]
Cap_Retenido_Excedente_2020 <-
sum(Prim_Ced_EXC_2020_Capcidad$Cap_Retenido_Excedente)
Prim_Ced_EXC_2020_Capcidad <-
sum(Prim_Ced_EXC_2020_Capcidad$Prima_Cedente_Excedentes)


#PRIMA DE REASEGURO
Prim_Exc_2020_Capacidad <- P2020.qx[,
CR_PRIMER_EXCEDENTES:=ifelse(Capital-M1<0,0,ifelse(Capital-
M1>M2,M2,Capital-M1)),]
Prim_Exc_2020_Capacidad <- P2020.qx[, CR_SEGUNDO_EXCEDENTES:=Capital-
Cap_Retenido_Excedente-CR_PRIMER_EXCEDENTES,]
Prim_Exc_2020_Capacidad <-
P2020.qx[,Prima_Reasegurador_1er_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",CR_PRIME
```

```
R_EXCEDENTES*qx_m*((1+I1_2020)^-
0.5),CR_PRIMER_EXCEDENTES*qx_f*((1+I1_2020)^-0.5))]
Prim_Exc_2020_Capacidad <-
P2020.qx[,Prima_Reasegurador_2o_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",CR_SEGUND
O_EXCEDENTES*qx_m*((1+I1_2020)^-
0.5),CR_SEGUNDO_EXCEDENTES*qx_f*((1+I1_2020)^-0.5))]
Prim_Exc_2020_1er_Excedentes <-
sum(Prim_Exc_2020_Capacidad$Prima_Reasegurador_1er_Excedentes)
Prim_Exc_2020_2o_Excedentes <-
sum(Prim_Exc_2020_Capacidad$Prima_Reasegurador_2o_Excedentes)
Cap_1er_Excedente_2020 <-
sum(Prim_Exc_2020_Capacidad$CR_PRIMER_EXCEDENTES)
Cap_2o_Excedente_2020 <-
sum(Prim_Exc_2020_Capacidad$CR_SEGUNDO_EXCEDENTES)

#2021

#PRIMA RETENIDA CEDENTE
Prim_Ced_EXC_2021_Capcidad <- P2021.qx[, Cap_Retenido_Excedente:=
ifelse(Capital>M1,M1,Capital),]
Prim_Ced_EXC_2021_Capcidad <-
P2021.qx[,Prima_Cedente_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",Cap_Retenido_Exce
dente*qx_m*((1+I1_2021)^-
0.5),Cap_Retenido_Excedente*qx_f*((1+I1_2021)^-0.5)),]
Cap_Retenido_Excedente_2021 <-
sum(Prim_Ced_EXC_2021_Capcidad$Cap_Retenido_Excedente)
Prim_Ced_EXC_2021_Capcidad <-
sum(Prim_Ced_EXC_2021_Capcidad$Prima_Cedente_Excedentes)


#PRIMA DE REASEGURO
Prim_Exc_2021_Capacidad <- P2021.qx[,
CR_PRIMER_EXCEDENTES:=ifelse(Capital-M1<0,0,ifelse(Capital-
M1>M2,M2,Capital-M1)),]
Prim_Exc_2021_Capacidad <- P2021.qx[, CR_SEGUNDO_EXCEDENTES:=Capital-
Cap_Retenido_Excedente-CR_PRIMER_EXCEDENTES,]
Prim_Exc_2021_Capacidad <-
P2021.qx[,Prima_Reasegurador_1er_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",CR_PRIME
R_EXCEDENTES*qx_m*((1+I1_2021)^-
0.5),CR_PRIMER_EXCEDENTES*qx_f*((1+I1_2021)^-0.5))]
Prim_Exc_2021_Capacidad <-
P2021.qx[,Prima_Reasegurador_2o_Excedentes:=ifelse(Sexo=="M",CR_SEGUND
O_EXCEDENTES*qx_m*((1+I1_2021)^-
0.5),CR_SEGUNDO_EXCEDENTES*qx_f*((1+I1_2021)^-0.5))]
Prim_Exc_2021_1er_Excedentes <-
sum(Prim_Exc_2021_Capacidad$Prima_Reasegurador_1er_Excedentes)
Prim_Exc_2021_2o_Excedentes <-
sum(Prim_Exc_2021_Capacidad$Prima_Reasegurador_2o_Excedentes)
Cap_1er_Excedente_2021 <-
sum(Prim_Exc_2021_Capacidad$CR_PRIMER_EXCEDENTES)
Cap_2o_Excedente_2021 <-
sum(Prim_Exc_2021_Capacidad$CR_SEGUNDO_EXCEDENTES)

#RESUMEN PRIMAS
PRIMAS_REASEGURO_1ER_EXCEDENTE <-
c(Prim_Exc_2017_1er_Excedentes,Prim_Exc_2018_1er_Excedentes,Prim_Exc_2
```

```
019_1er_Excedentes,Prim_Exc_2020_1er_Excedentes,Prim_Exc_2021_1er_Exce
dentes)
PRIMAS_REASEGURO_2o_EXCEDENTE <-
c(Prim_Exc_2017_2o_Excedentes,Prim_Exc_2018_2o_Excedentes,Prim_Exc_201
9_2o_Excedentes,Prim_Exc_2020_2o_Excedentes,Prim_Exc_2021_2o_Excedente
s)
TABLA_PRIMAS_REASEGURO_EXC_CAPACIDAD <- as.data.table(AÑOS)
TABLA_PRIMAS_REASEGURO_EXC_CAPACIDAD[,Primas_1er_EXCEDENTE:=PRIMAS_REA
SEGURO_1ER_EXCEDENTE,]
TABLA_PRIMAS_REASEGURO_EXC_CAPACIDAD[,Primas_2o_EXCEDENTE:=PRIMAS_REAS
EGURO_2o_EXCEDENTE,]

#RESUMEN CAPITAL REASEGURADO
CAPITAL_RETENIDO_CED_EXCEDENTE <-
c(Cap_Retenido_Excedente_2017,Cap_Retenido_Excedente_2018,Cap_Retenido
_Excedente_2019,Cap_Retenido_Excedente_2020,Cap_Retenido_Excedente_202
1)
CAPITAL_REASEGURO_1ER_EXCEDENTE <-
c(Cap_1er_Excedente_2017,Cap_1er_Excedente_2018,Cap_1er_Excedente_2019
,Cap_1er_Excedente_2020,Cap_1er_Excedente_2021)
CAPITAL_REASEGURO_2o_EXCEDENTE <-
c(Cap_2o_Excedente_2017,Cap_2o_Excedente_2018,Cap_2o_Excedente_2019,Ca
p_2o_Excedente_2020,Cap_2o_Excedente_2021)
TABLA_CAPITAL_REASEGURO_EXC_CAPACIDAD <- as.data.table(AÑOS)
TABLA_CAPITAL_REASEGURO_EXC_CAPACIDAD[,CAPITAL_RETENIDO_CED_EXCEDENTE:
=CAPITAL_RETENIDO_CED_EXCEDENTE,]
TABLA_CAPITAL_REASEGURO_EXC_CAPACIDAD[,CAPITAL_REASEGURO_1ER_EXCEDENTE
:=CAPITAL_REASEGURO_1ER_EXCEDENTE,]
TABLA_CAPITAL_REASEGURO_EXC_CAPACIDAD[,CAPITAL_REASEGURO_2o_EXCEDENTE:
=CAPITAL_REASEGURO_2o_EXCEDENTE,]

##GRAFICOS

#1er excedente

M1_vector <- seq(0,500000,10000)
M2_vector <- 2*M1_vector
P2021.Grafico <- P2021.qx[,.(Capital,Sexo,qx_m,qx_f)]
for(x in M1_vector){

P2021.Grafico[,paste0("Prima_1er_Excedente",x):=ifelse(Sexo=="M",(ifel
se(P2021.Grafico$Capital-x<0,0,ifelse(P2021.Grafico$Capital-
x>M2_vector,M2_vector,P2021.Grafico$Capital-x)))*qx_m*((1+I1_2021)^-
0.5),(ifelse(P2021.Grafico$Capital-x<0,0,ifelse(P2021.Grafico$Capital-
x>M2_vector,M2_vector,P2021.Grafico$Capital-x)))*qx_f*((1+I1_2021)^-
0.5))]
}

Vector_Primas_1er_Exc_Grafico_2021<-
as.vector(colSums(P2021.Grafico[,5:55]))
Grafico_1er_Exc_2021 <-
plot(M1_vector,Vector_Primas_1er_Exc_Grafico_2021,main = "Primas de
reaseguro primer excedente para cada pleno de retención, año
2021",xlab = "Pleno de retención",ylab = "Primas Reaseguro primer
excedente 2021")
Grafico_1er_Exc_2021
```

```
#2o excedente

M1_vector <- seq(0,500000,10000)
M2_vector <- 2*M1_vector
P2021.Grafico <- P2021.qx[,.(Capital,Sexo,qx_m,qx_f)]
for(x in M_vector){

P2021.Grafico[,paste0("Prima_2o_Excedente",x):=ifelse(Sexo=="M",(P2021
.Grafico$Capital-
(ifelse(P2021.Grafico$Capital>x,x,P2021.Grafico$Capital))-
(ifelse(P2021.Grafico$Capital-x<0,0,ifelse(P2021.Grafico$Capital-
x>M2_vector,M2_vector,P2021.Grafico$Capital-x))))*qx_m*((1+I1_2021)^-
0.5),(P2021.Grafico$Capital-
(ifelse(P2021.Grafico$Capital>x,x,P2021.Grafico$Capital))-
(ifelse(P2021.Grafico$Capital-x<0,0,ifelse(P2021.Grafico$Capital-
x>M2_vector,M2_vector,P2021.Grafico$Capital-x))))*qx_f*((1+I1_2021)^-
0.5))]
}

Vector_Primas_2o_Exc_Grafico_2021<-
as.vector(colSums(P2021.Grafico[,5:55]))
Grafico_2o_Exc_2021 <-
plot(M_vector,Vector_Primas_2o_Exc_Grafico_2021,main = "Primas de
reaseguro segundo excedente para cada pleno de retención, año
2021",xlab = "Pleno de retención",ylab = "Primas reaseguro segundo
excedente 2021")
Grafico_2o_Exc_2021

##############################
########SOLVENCIA############
##############################

lambda <- 0.25
Reservas <- 0

#TOTAL
EspZ <- Prima.Total.2021
VarZ <- P2021.qx[,Varianza:=qx*px*Capital^2,]
VarZ <- sum(VarZ$Varianza)
DesZ <- sqrt(VarZ)
EspZ
DesZ
te_Z <- (lambda*EspZ+Reservas)/DesZ
te_Z
PROB_INSOLVENCIA_Z <- pnorm(te_Z)
PROB_INSOLVENCIA_Z

######CUOTA-PARTE#######

#CEDENTE
P2021.qx[, Cap_Retenido_CUOTA_PARTE:= K*Capital,]
EspZ_CP_C <- P2021.qx[,Esperanza_CP:=Cap_Retenido_CUOTA_PARTE*qx,]
EspZ_CP_C <- sum(EspZ_CP_C$Esperanza_CP)
VarZ_CP_C <- P2021.qx[,Varianza_CP:=qx*px*Cap_Retenido_CUOTA_PARTE^2,]
VarZ_CP_C <- sum(VarZ_CP_C$Varianza_CP)
DesZ_CP_C <- sqrt(VarZ_CP_C)
EspZ_CP_C
```

```
DesZ_CP_C
te_Z_CP_C <- (lambda*EspZ_CP_C+Reservas)/DesZ_CP_C
te_Z_CP_C
PROB_INSOLVENCIA_Z_CP_C <- pnorm(te_Z_CP_C)
PROB_INSOLVENCIA_Z_CP_C

##GRAFICO##

##CUOTA DE RETENCIÓN##

k_vector <- seq(0,1,0.01)
P2021.Grafico <- P2021.qx[,.(Capital,Sexo,qx_m,qx_f,qx)]
for(x in k_vector){

P2021.Grafico[,paste0("EspZ_CP_R_",x):=(x*P2021.Grafico$Capital)*qx,]
}

Vector_ESP_CP_C<- as.vector(colSums(P2021.Grafico[,6:106]))

k_vector <- seq(0,1,0.01)
P2021.Grafico <- P2021.qx[,.(Capital,Sexo,qx_m,qx_f,qx,px)]
for(x in k_vector){

P2021.Grafico[,paste0("DesZ_CP_R_",x):=(qx*px*(x*P2021.Grafico$Capital
)^2),]
}

Vector_DES_CP_C<- as.vector(colSums(P2021.Grafico[,7:107]))
Vector_DES_CP_C <- sqrt(Vector_DES_CP_C)

te_Z_CP_CR <- (lambda*Vector_ESP_CP_C+Reservas)/Vector_DES_CP_C
te_Z_CP_CR
PROB_INSOLVENCIA_Z_CP_CR <- pnorm(te_Z_CP_CR)
PROB_INSOLVENCIA_Z_CP_CR

Grafico_Prob_CP_2021_CR <- plot(k_vector,PROB_INSOLVENCIA_Z_CP_CR,main
= "CEDENTE: Relación entre cuota de retención y probabilidad de
solvencia",xlab = "Cuota de Retención",ylab = "Probabilidad de
solvencia")
Grafico_Prob_CP_2021_CR

##PARAMETRO LAMBDA##

K <- 0.8
Reservas <- 0

P2021.qx[, Cap_Retenido_CUOTA_PARTE:= K*Capital,]
EspZ_CP_C <- P2021.qx[,Esperanza_CP:=Cap_Retenido_CUOTA_PARTE*qx,]
EspZ_CP_C <- sum(EspZ_CP_C$Esperanza_CP)
VarZ_CP_C <- P2021.qx[,Varianza_CP:=qx*px*Cap_Retenido_CUOTA_PARTE^2,]
VarZ_CP_C <- sum(VarZ_CP_C$Varianza_CP)
DesZ_CP_C <- sqrt(VarZ_CP_C)
EspZ_CP_C
DesZ_CP_C

lambda_vector <- seq(0,1,0.01)
for (x in lambda_vector) {
```

```
  te_Z_CP_LAMBDA <- (lambda_vector*EspZ_CP_C+Reservas)/DesZ_CP_C
}
te_Z_CP_LAMBDA

PROB_INSOLVENCIA_Z_CP_LAMBDA <- pnorm(te_Z_CP_LAMBDA)
PROB_INSOLVENCIA_Z_CP_LAMBDA

Grafico_Prob_CP_2021_LAMBDA <-
plot(lambda_vector,PROB_INSOLVENCIA_Z_CP_LAMBDA,main = "CEDENTE:
Relación entre el recargo sobre la esperanza matemática y probabilidad
de solvencia",xlab = "Recargo",ylab = "Probabilidad de solvencia")
Grafico_Prob_CP_2021_LAMBDA

##RESERVAS DE SOLVENCIA##
K <- 0.8
lambda <- 0.25

reservas_vector <- seq(0,2000000,10000)
for (x in reservas_vector) {
  te_Z_CP_RES <- (lambda*EspZ_CP_C+reservas_vector)/DesZ_CP_C
}
te_Z_CP_RES

PROB_INSOLVENCIA_Z_CP_RES <- pnorm(te_Z_CP_RES)
PROB_INSOLVENCIA_Z_CP_RES

Grafico_Prob_CP_2021_RES <-
plot(reservas_vector,PROB_INSOLVENCIA_Z_CP_RES,main = "CEDENTE:
Relación entre las reservas de solvencia y probabilidad de
solvencia",xlab = "Reservas de solvencia",ylab = "Probabilidad de
solvencia")
Grafico_Prob_CP_2021_RES

#####EXCEDENTES#######

#CEDENTE
P2021.qx[, CAP_RETENIDO_EXCEDENTES:=Capital-CR_EXCEDENTES,]
EspZ_EXC_C <- P2021.qx[,Esperanza_EXC:=CAP_RETENIDO_EXCEDENTES*qx,]
EspZ_EXC_C <- sum(EspZ_EXC_C$Esperanza_EXC)
VarZ_EXC_C <-
P2021.qx[,Varianza_EXC:=qx*px*CAP_RETENIDO_EXCEDENTES^2,]
VarZ_EXC_C <- sum(VarZ_EXC_C$Varianza_EXC)
DesZ_EXC_C <- sqrt(VarZ_EXC_C)
EspZ_EXC_C
DesZ_EXC_C
te_Z_EXC_C <- (lambda*EspZ_EXC_C+Reservas)/DesZ_EXC_C
te_Z_EXC_C
PROB_INSOLVENCIA_Z_EXC_C <- pnorm(te_Z_EXC_C)
PROB_INSOLVENCIA_Z_EXC_C

##GRAFICO##

##PLENO DE RETENCIÓN##

M_vector <- seq(0,3000000,60000)
P2021.Grafico <- P2021.qx[,.(Capital,Sexo,qx_m,qx_f,qx)]
for(x in M_vector){
```

```
  P2021.Grafico[,paste0("EspZ_EXC_C_",x):=(P2021.Grafico$Capital-
(ifelse(P2021.Grafico$Capital-x<0,0,P2021.Grafico$Capital-x)))*qx,]
}

Vector_ESP_EXC_C<- as.vector(colSums(P2021.Grafico[,6:56]))

M_vector <- seq(0,3000000,60000)
P2021.Grafico <- P2021.qx[,.(Capital,Sexo,qx_m,qx_f,qx,px)]
for(x in M_vector){

P2021.Grafico[,paste0("DesZ_EXC_C_",x):=(qx*px*(P2021.Grafico$Capital-
(ifelse(P2021.Grafico$Capital-x<0,0,P2021.Grafico$Capital-x)))^2),]
}

Vector_DES_EXC_C<- as.vector(colSums(P2021.Grafico[,7:57]))
Vector_DES_EXC_C <- sqrt(Vector_DES_EXC_C)

te_Z_EXC_C <- (lambda*Vector_ESP_EXC_C+Reservas)/Vector_DES_EXC_C
te_Z_EXC_C
PROB_INSOLVENCIA_Z_EXC_C <- pnorm(te_Z_EXC_C)
PROB_INSOLVENCIA_Z_EXC_C

Grafico_Prob_EXC_2021_C <- plot(M_vector,PROB_INSOLVENCIA_Z_EXC_C,main
= "CEDENTE: Relación entre pleno de retención y probabilidad de
solvencia",xlab = "Pleno de Retención",ylab = "Probabilidad de
solvencia")
Grafico_Prob_EXC_2021_C

##PARAMETRO LAMBDA##

Reservas <- 100000
M <- 125000

P2021.qx[, CAP_RETENIDO_EXCEDENTES:=Capital-CR_EXCEDENTES,]
EspZ_EXC_C <- P2021.qx[,Esperanza_EXC:=CAP_RETENIDO_EXCEDENTES*qx,]
EspZ_EXC_C <- sum(EspZ_EXC_C$Esperanza_EXC)
VarZ_EXC_C <-
P2021.qx[,Varianza_EXC:=qx*px*CAP_RETENIDO_EXCEDENTES^2,]
VarZ_EXC_C <- sum(VarZ_EXC_C$Varianza_EXC)
DesZ_EXC_C <- sqrt(VarZ_EXC_C)
EspZ_EXC_C
DesZ_EXC_C

lambda_vector <- seq(0,1,0.01)
for (x in lambda_vector) {
  te_Z_EXC_LAMBDA <- (lambda_vector*EspZ_EXC_C+Reservas)/DesZ_EXC_C
}
te_Z_EXC_LAMBDA

PROB_INSOLVENCIA_Z_EXC_LAMBDA <- pnorm(te_Z_EXC_LAMBDA)
PROB_INSOLVENCIA_Z_EXC_LAMBDA

Grafico_Prob_EXC_2021_LAMBDA <-
plot(lambda_vector,PROB_INSOLVENCIA_Z_EXC_LAMBDA,main = "CEDENTE:
Relación entre el recargo sobre la esperanza matemática y probabilidad
de solvencia",xlab = "Recargo",ylab = "Probabilidad de solvencia")
Grafico_Prob_EXC_2021_LAMBDA
```

```r
##RESERVAS##

M <- 125000
lambda <- 0.25

reservas_vector <- seq(0,2000000,10000)
for (x in reservas_vector) {
  te_Z_EXC_RES <- (lambda*EspZ_EXC_C+reservas_vector)/DesZ_EXC_C
}
te_Z_EXC_RES

PROB_INSOLVENCIA_Z_EXC_RES <- pnorm(te_Z_EXC_RES)
PROB_INSOLVENCIA_Z_EXC_RES

Grafico_Prob_EXC_2021_RES <-
plot(reservas_vector,PROB_INSOLVENCIA_Z_EXC_RES,main = "CEDENTE:
Relación entre las reservas de solvencia y probabilidad de
solvencia",xlab = "Reservas de solvencia",ylab = "Probabilidad de
solvencia")
Grafico_Prob_EXC_2021_RES
```