



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

REPORTE EXPERIENCIA PROFESIONAL: METODOLOGÍA Y  
CÁLCULO DE LA RESERVA DE RIESGOS EN CURSO DE UNA  
COMPAÑÍA ASEGURADORA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

ACTUARIO

PRESENTA:

CHRISTOPHER GÓMEZ YÁÑEZ

DIRECTOR DE TESIS:

MTRO. ALFONSO PARRAO GUZMÁN



CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.

ABRIL, 2020



# **Reporte Experiencia Profesional: Metodología y Cálculo de la Reserva de Riesgos en Curso de una Compañía Aseguradora**

por

Christopher Gómez Yáñez

Tesis presentada para obtener el grado de

Actuario

en la

FACULTAD DE CIENCIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Ciudad Universitaria, CD. MX. Abril, 2020



## ***JURADO ASIGNADO***

### **Datos del alumno:**

Gómez Yáñez, Christopher

*Número de cuenta:* 307228305

*Carrera:* Actuaria

*Correo:* chris.gomez@ciencias.unam.mx

*Teléfono:* 5532358625

### **Presidente:**

Dr. Núñez Zúñiga, Darío

*Correo:* nunez@nucleares.unam.mx

*Institución de adscripción:* Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM

### **Vocal:**

Dr. Matos Chassin, Tonatiuh

*Correo:* tmatos@fis.cinvestav.mx

*Institución de adscripción:* Departamento de Física, CINVESTAV

### **Secretario:**

Dr. Alcubierre Moya, Miguel

*Correo:* malcubi@nucleares.unam.mx

*Institución de adscripción:* Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM

### **1<sup>er</sup> Suplente:**

Dr. Tejeda Rodríguez, Emilio

*Correo:* etejeda@astro.unam.mx

*Institución de adscripción:* Instituto de Astronomía, UNAM

### **2<sup>do</sup> Suplente:**

Dr. Degollado Daza, Juan Carlos

*Correo:* jcdegollado@ciencias.unam.mx

*Institución de adscripción:* Instituto de Ciencias Físicas, UNAM



*El continuo esfuerzo, no la fortaleza o inteligencia, es la clave para  
desbloquear nuestro potencial.*

**Winston S. Churchill**





## Agradecimientos

A mi mamá. d

A XXXXXXXXXXXX.

A XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX.

AXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX.

A XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX.

A XXXXXXXXxxXXXXXXXXXXx.

A XXXXXXXXxxxxxxxxxxxx.

A XXXXXXXxxxxxxxxXXXXXXXXXXXXX

A XXXXXXXXXXXXXXXXx

A XXXXXXXXXXXXXXXXx



# Índice general

<b>Prefacio</b>	<b>1</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
<b>2. Conceptos Básicos</b>	<b>7</b>
2.1. El Seguro . . . . .	7
2.2. Instituciones de Seguros . . . . .	7
2.3. Contrato de Seguro . . . . .	7
2.4. Reserva Técnica . . . . .	7
2.5. Comisión Nacional de Seguros y Fianzas . . . . .	8
2.6. Secretaría de Hacienda y Credito Publico . . . . .	8
2.7. Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros . . . . .	9
<b>3. Marco Regulatorio y Herramientas utilizadas</b>	<b>11</b>
3.1. Circular Única de Seguros y Fianzas . . . . .	11
3.2. Ley de Instituciones de Seguros y de Fianzas . . . . .	11
3.3. R . . . . .	12
<b>4. Metodología empleada en el Cálculo de la Reserva de Riesgos en Curso</b>	<b>13</b>
4.1. Método Chain Ladder . . . . .	13
4.2. Bootstrapping . . . . .	13
<b>5. Cálculo de la Reserva de Riesgos en Curso</b>	<b>15</b>
5.1. Cálculo del Bel de Riesgos en Curso . . . . .	15
5.2. Cálculo del Bel de Gastos de Administración . . . . .	22
5.3. Cálculo de la Prima de Riesgo No Devengada . . . . .	23
5.4. Cálculo del Factor de Distribución . . . . .	25

5.5. Cálculo de la Reserva de Riesgos en Curso de cada Asegurado . . . . .	26
A. Metodología codificada en R	27
Bibliografía	33

## **Prefacio**

En este trabajo se tiene como objetivo describir brevemente las labores de un Actuario dentro de una Compañía Aseguradora para posteriormente abordar una de las partes más esenciales del puesto, la cual es la valuación de la Reserva de Riesgos en Curso. Tambien se mencionaran las herramientas y metodología necesarias para el proceso y las leyes y organismos gubernamentales que dictan las condiciones bajo las cuales debe realizarse el cálculo.



# Capítulo 1

## *Introducción*

A continuación se mencionan brevemente las actividades relacionadas con el puesto de Actuario en la una Compañía Aseguradora.

### **1. Actividades Mensuales**

#### *a) Procesos del Cierre de Mes*

##### **1) Revisión de bases de información de Cierre:**

El Actuario debe asegurarse de que la información correspondiente a los Asegurados y Siniestros registrados en las bases de datos de la Compañía sea veraz, oportuna, integra y consistente, con el fin de utilizarla en procesos consiguientes, como son reportes y especialmente para el cálculo de la Reserva Técnica de la Compañía.

#### *b) Cálculo de Reserva Técnica*

##### **1) Verificar Factores de Mercado publicados en la CUSF para calculo de Reservas mediante Metodo Estatutario:**

Para el Cálculo de Reservas de Subramos cuya información no es suficiente se debe emplear el metodo Estatutario aprobado por la CNSF, para el cual son necesarios Factores obtenidos con la Información de Mercado de Seguros. Ya que el Mercado es cambiante es responsabilidad del Actuario asegurarse que se estan empleando los factores más actualizados al momento del cálculo.

##### **2) Extracción de información de las Bases de Datos validadas:**

Para calcular la Reserva es necesario contar con las cifras correspondientes a Asegurados en Vigor y Siniestros Autorizados, para la obtención de la Reserva de Gastos de Administración y la Reserva de Riesgos en Curso, respectivamente.

##### **3) Simulación Estocástica en R:**

Una vez que se cuenta con la información de Siniestralidad Autorizada se generara a partir de élla las Matrices de Siniestralidad sobre las cuales se aplicara el método expuesto en este trabajo, en específico las  $n$  simulaciones.

4) Obtención de los resultados del Cálculo de la Reserva:

Se realizara un resumen con los resultados del Cálculo en una plantilla de Excel, el cual incorporara el Cálculo de la primera Reserva, así como la conclusión de las  $n$  simulaciones posteriores.

5) Envío de Información a Áreas Técnicas:

Se enviaran los resultados de Reserva Técnica al resto de Áreas Técnicas para su registro en los reportes internos y su uso posterior en entregas de información al Organismo Regulador

c) *Obtención de información para el Cálculo del Requerimiento de Capital de Solvencia (RCS)*

1) Obtención de Factores de Devengamiento de la CUSF:

Para el Cálculo de Insumos de Suscripción es necesario contar con los factores de Devengamiento publicados en la última actualización del *Manual de datos para el cálculo del RCS de índices de siniestralidad del mejor estimador*.

2) Obtención de Insumos de Suscripción:

Una vez obtenidos los Factores de Devengamiento actualizados se calculan los Insumos de Suscripción mediante el uso de la Reserva Técnica calculada y los Asegurados en Vigor al Cierre de mes.

3) Envío de los Insumos de Suscripción al Área Responsable del Cálculo del nuevo RCS:

Una vez que se calculan los Insumos de Suscripción, estos deben enviarse al Area Responsable del Cálculo del RCS para que esta los ingrese al validador en línea de la CNSF y posteriormente envíe el nuevo RCS en el reporte correspondiente.

## 2. Actividades Trimestrales

a) *Entrega de Reportes Trimestrales a la CNSF*

La CNSF hace del conocimiento de las Instituciones de Seguros y Fianzas la responsabilidad de entregar reportes trimestrales con información que sustente la correcta operación de dichas Compañías.

1) Ingresar a la pagina oficial de la CNSF para obtener las fechas límite de entrega de los diferentes reportes

La CNSF actualiza periodicamente el listado de reportes que se deben entregar, así como las fechas antes de las cuales debe hacerse el envío. Es responsabilidad del actuario estar informado de dichas actualizaciones para enviar los reportes en tiempo y forma.

2) Llenado y entrega del REPORTE REGULATORIO SOBRE RESERVAS TÉCNICAS Trimestral (RR-3 REVAL)

Siguiendo el Manual oficial de la CNSF debe ser llenado el reporte RR3 REVAL, el cuál esta consituido por la información del cálculo de Reservas Técnicas (Comparte información con el REPORTE REGULATORIO SOBRE ESTADOS FINANCIEROS RR7 por lo que se debe validar que no existan inconsistencias entre los reportes). Posteriormente, la información debe ser depositada en el Sistema de Entrega de Información Vía Electronica (SEIVE).



- 3) Llenado y entrega del Reporte de Información Estadística por Operación, Ramo o Seguro (RR8 ORS)

Seguando el Manual oficial de la CNSF debe ser llenado el reporte RR8 ORS, el cuál esta consituido por la información estadística de los Asegurados en la cartera de Compañía. Posteriormente, la información debe ser depositada en el Sistema de Entrega de Información Vía Electronica (SEIVE).

- 4) Llenado y entrega del Reporte de Información del Comportamiento por Operación y Ramo (RR8 COR)

Seguando el Manual oficial de la CNSF debe ser llenado el reporte RR8 COR, el cuál esta consituido por el número de Pólizas y Asegurados y Monto de Prima por Subramo en la Cartera de la Compañía. Posteriormente, la información debe ser depositada en el Sistema de Entrega de Información Vía Electronica (SEIVE).

- b) Entrega de Reportes Trimestrales a la AMIS*

Con el fin de realizar análisis estadísticos del mercado en beneficio de las instituciones de Seguros y Fianzas, la AMIS solicita a las Compañías que le envíen los reportes Trimestrales RR mediante un Repositorio en Linea. Es responsabilidad del Actuario hacer el envío Trimestral de la información una vez se hayan entregado de manera exitosa los Reportes a la CNSF

- c) Entrega de información al Auditor Externo*

Con el propósito de dar cumplimiento a lo establecido por la CNSF, las Compañías estan obligadas a contratar un Auditor Externo cuya función será buscar inconsistencias en su información interna para su pronta y oportuna corrección. Una vez corregida la información el Auditor Externo ratificará ante la CNSF que esta es confiable. Es responsabilidad del Actuario compartir con el Auditor Externo la información convenida en el Programa de Auditoría para posteriormente, en conjunto, resolver dudas y acordar soluciones.

### 3. Actividades Anuales

- a) Asistencia a los foros organizados por la AMIS para revisar nuevos reportes o modificaciones a reportes anuales que solicita la CNSF, aclarar dudas y acordar propuestas para presentar a la CNSF*

- b) Entrega de Reportes Trimestrales a la CNSF*

La CNSF hace del conocimiento de las Instituciones de Seguros y Fianzas la responsabilidad de entregar reportes anuales con información que sustente la correcta operación de dichas Compañías.

- 1) Ingresar a la pagina oficial de la CNSF para obtener las fechas límite de entrega de los diferentes reportes

La CNSF actualiza periodicamente el listado de reportes que se deben entregar, así como las fechas antes de las cuales debe hacerse el envío. Es responsabilidad del actuario estar informado de dichas actualizaciones para enviar los reportes en tiempo y forma.

- 2) Llenado y entrega del REPORTE REGULATORIO SOBRE RESERVAS TÉCNICAS Anual (RR-3 DETAN)

Siguiendo el Manual oficial de la CNSF debe ser llenado el reporte RR3 DETAN, el cuál esta consituido por la información del cálculo de Reservas Técnicas de cada asegurado en la cartera de la Compañía (Comparte información con el REPORTE REGULATORIO SOBRE ESTADOS FINANCIEROS RR7 por lo que se debe validar que no existan inconsistencias entre los reportes). Posteriormente, la información debe ser depositada en el Sistema de Entrega de Información Vía Electronica (SEIVE).

3) Llenado y entrega del Reporte SISTEMA ESTADÍSTICO DEL SECTOR ASEGURADOR (RR8 SESA)

Siguiendo el Manual oficial de la CNSF debe ser llenado el reporte RR8 SESA para cada ramo que la Compañía maneje en su cartera, el cuál esta consituido por la información estadística de cada Asegurado en la cartera de la Compañía. Posteriormente, la información debe ser depositada en el Sistema de Entrega de Información Vía Electronica (SEIVE).

4) Llenado y entrega del Reporte FORMAS ESTADÍSTICAS DE LOS SEGUROS (RR8 FES)

Siguiendo el Manual oficial de la CNSF debe ser llenado el reporte RR8 FES para cada ramo que la Compañía maneje en su cartera, el cuál esta consituido por la información estadística por estado de cada Asegurado en la cartera de la Compañía. Posteriormente, la información debe ser depositada en el Sistema de Entrega de Información Vía Electronica (SEIVE).

c) *Entrega regulatoria de la carta de aceptación del Actuario Independiente firmada en conjunto del Contrato de Servicios del Actuario Independiente*

Como parte de la regulación, es necesario hacer el envío a la CNSF de la carta de aceptación del Actuario que fungira como Auditor Externo de la Compañía con las certificaciones correspondientes. De igual forma debe incluirse el contrato firmado en el que se define el periodo, terminos y condiciones para que el Actuario Independiente cumpla con sus funciones como Auditor Externo. La información debe ser depositada en el Sistema de Entrega de Información Vía Electronica (SEIVE).

d) *Entrega regulatoria del Programa de Actividades del Actuario Independiente*

Como parte de la regulación, es necesario hacer el envío a la CNSF del Programa de Actividades del Actuario Independiente, el cual debe incluir la información que se auditará, así como los periodos de entrega de información por parte de la Compañía y las fechas de entrega de comentarios por parte del Auditor.

#### 4. Otras actividades

a) *Automatización y Documentación de Procesos*

Debido a la cantidad y frecuencia de reportes regulatorios, es responsabilidad del Actuario buscar nuevas y mejores formas de procesar y extraer la información que se requiere en la operación diaria, así como documentar dichos procesos para facilitar su uso.

b) *Creación de Manuales de Capacitación*

El Actuario debe constantemente crear y/o actualizar manuales que detallen sus funciones para la facil asimilacion de dichas funciones por nuevos miembros de equipo, al igual que los Auditores Internos de la Compañía para así asegurar la correcta operación y la calidad de la información.

# Capítulo 2

## *Conceptos Básicos*

### **2.1. El Seguro**

El seguro es un medio para la protección individuos frente a las consecuencias de riesgos y se basa en transferir dichos riesgos a la institución de seguros, la cual se encargará de indemnizar todo o parte del perjuicio que se produzca por la ocurrencia de un evento previsto<sup>1</sup>.

### **2.2. Instituciones de Seguros**

Una Institución de Seguros es una sociedad anónima autorizada para organizarse y operar conforme a la Ley de Instituciones de Seguros y de Fianzas (LISF), como institución de seguros<sup>2</sup>.

### **2.3. Contrato de Seguro**

El Contrato de Seguro es aquel con que la Empresa Aseguradora se obliga, mediante el pago de una prima, a resarcir un daño o a pagar una suma de dinero al verificarse la eventualidad prevista en el contrato<sup>3</sup>.

### **2.4. Reserva Técnica**

Debe ser constituida por la Institución de Seguros para operar de acuerdo a la LISF. Las Reservas Técnicas detalladas en este trabajo son la Reserva de Riesgos en Curso (RRC) y la Reserva para Obligaciones Pendientes de Cumplir (ROPC). El propósito de la RRC es cubrir el

---

<sup>1</sup>Ver (2020b), Fundación Mapfre, El Seguro

<sup>2</sup>Ver (2013a), Artículo 2 Sección XVI

<sup>3</sup>Ver (1935), Artículo 1

valor esperado de las obligaciones futuras derivadas del pago de siniestros, beneficios, valores garantizados, dividendos, gastos de adquisición y administración, así como cualquier otra obligación futura derivada de los contratos del seguro. Por otro lado, la ROPC tiene como objetivo cubrir el valor esperado de siniestros, beneficios, valores garantizados o dividendos, una vez ocurrida la eventualidad prevista en el contrato de seguro. De acuerdo a la LISF, las reservas técnicas deberán constituirse y valuarse de forma prudente, confiable y objetiva, en relación con todas las obligaciones de seguro que las Instituciones de Seguros asuman frente a los asegurados y beneficiarios del contrato de seguro, los gastos de administración, si como los gastos de adquisición que, en su caso, asuman con relación a los mismos. Para la constitución se deben utilizar métodos actuariales con base en la aplicación de los estándares de práctica actuarial, considerando la información disponible en los mercados financieros, así como la que generalmente se encuentra disponible sobre riesgos técnicos de seguros<sup>4</sup>.

## **2.5. Comisión Nacional de Seguros y Fianzas**

La Comisión Nacional de Seguros y Fianzas es un Órgano Desconcentrado de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, encargada de supervisar que la operación de los sectores asegurador y afianzador se apegue al marco normativo, preservando la solvencia y estabilidad financiera de las instituciones de Seguros y Fianzas, para garantizar los intereses del público usuario, así como promover el sano desarrollo de estos sectores con el propósito de extender la cobertura de sus servicios a la mayor parte posible de la población<sup>5</sup>.

## **2.6. Secretaría de Hacienda y Credito Publico**

La Secretaría de Hacienda y Crédito Público es la dependencia del Poder Ejecutivo Federal que tiene como misión proponer, dirigir y controlar la política económica del Gobierno Federal en materia financiera, fiscal, de gasto, de ingresos y deuda pública, con el propósito de consolidar un país con crecimiento económico de calidad<sup>6</sup>.

---

<sup>4</sup>Ver (2021a), Artículo 217 y 218

<sup>5</sup>Ver (2021c)

<sup>6</sup>Ver (2020c)

## 2.7. Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros

Organismo gremial que representa al interés general de las compañías aseguradoras, promoviendo el desarrollo sano y sustentable del seguro a través de las mejores prácticas. Su principal objetivo es promover el desarrollo de la industria aseguradora, representar sus intereses ante autoridades del sector público, privado y social, así como proporcionar apoyo técnico a sus asociados<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup>Ver (2019a)



# Capítulo 3

## *Marco Regulatorio y Herramientas utilizadas*

### **3.1. Circular Única de Seguros y Fianzas**

Cuerpo normativo que contiene las disposiciones derivadas de la Ley de Instituciones de Seguros y de Fianzas, que dan operatividad a sus preceptos y sistematizan su integración, homologando la terminología utilizada, a fin de brindar con ello certeza jurídica en cuanto al marco normativo al que las instituciones y sociedades mutualistas de seguros, instituciones de fianzas y demás personas y entidades sujetas a la inspección y vigilancia de la Comisión Nacional de Seguros y Fianzas deberán sujetarse en el desarrollo de sus operaciones<sup>8</sup>. El 19 de diciembre de 2014, se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Circular Única de Seguros y Fianzas (CUSF). Esta circular instrumenta y da operatividad a la nueva Ley de Instituciones de Seguros y de Fianzas (LISF) promulgada el 4 de abril de 2013 y en vigor desde el 4 de abril de 2015.

### **3.2. Ley de Instituciones de Seguros y de Fianzas**

Ley que tiene por objeto la organización, operación y funcionamiento de las Instituciones de Seguros, Instituciones de Fianzas y Sociedades Mutualistas de Seguros; las actividades y operaciones que las mismas podrán realizar, así como las de los agentes de seguros y de fianzas, y demás participantes en las actividades aseguradora y afianzadora en protección de los intereses del público usuario de estos servicios financieros<sup>9</sup>. De acuerdo con La Ley de Instituciones de Seguros y de Fianzas se establece que las Instituciones de Seguros deberán registrar ante la Comisión Nacional de Seguros y Fianzas los métodos actuariales con base en sus estima-

---

<sup>8</sup>Ver (2021b)

<sup>9</sup>Ver (2013b), Artículo 1

ciones para la Reserva de Riesgos en Curso<sup>10</sup>, de conformidad con las disposiciones de carácter general que al efecto emita, mismas que se dieron a conocer a través de la Circular Única de Seguros y Fianzas publicada en el Diario Oficial de la Federación<sup>11</sup>.

### 3.3. R

R es una herramienta informática (específicamente, un lenguaje computacional) sumamente potente para realizar distintos cálculos científicos, numéricos y estadísticos, así como para crear gráficas y figuras de gran calidad. R es un programa gratuito, relativamente fácil de operar y cuenta con una gran comunidad de internet que contribuye a resolver dudas y problemas, sin costo alguno<sup>12</sup>.

---

<sup>10</sup>Ver (2019a), Artículo 219

<sup>11</sup>Ver (2020a)

<sup>12</sup>Ver (2019b)



# Capítulo 4

## *Metodología empleada en el Cálculo de la Reserva de Riesgos en Curso*

### 4.1. Método Chain Ladder

Método que se utiliza comunmente en las reservas de no-vida. Útiliza un factor para "suavizar" los datos y con base en estos, realizar interpolaciones para estimar los siniestros agregados para cada año de ocurrencia y posteriormente la reserva correspondiente. El supuesto básico de este método es que las columnas en el triángulo de desarrollo son proporcionales, es decir que, independientemente del año de origen, cada periodo de desarrollo se reporta una proporción constante de siniestros con respecto al total. La sustentación del supuesto depende en buena medida, tanto del tipo de negocio que se trate, como de la homogeneidad y tamaño de la cartera. En particular, en negocios como vida individual, gastos médicos, responsabilidad civil, etc., la evolución del reporte de los siniestros es estacional<sup>13</sup>.

La estimación de las obligaciones se hace con base en los siniestros observados y su desfase respecto a la entrada en vigor de cada obligación, usando el metodo bootstrap.

### 4.2. Bootstrapping

El método desarrollado por Bradley Efron. Es un método de muestreo computacionalmente intensivo con el que se busca aproximar la distribución muestral de alguna variable aleatoria que se basa en los datos observados<sup>14</sup>.

El método de Bootstrap es un método de muestreo con el que se busca aproximar la distribución muestral de alguna variable aleatoria que tiene como base los datos observados.

---

<sup>13</sup>Ver Miguel Juárez Hermosillo (1996), 1.2.1 Método Chain-Ladder

<sup>14</sup>Ver Dr. Gabriel Núñez Antonio (2010), p.11

Teniendo una muestra de datos  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , donde los  $x_i$  son independientes y provienen de una distribución desconocida  $F$ , donde además se presume que dicha muestra es una representación significativa de la población de donde proviene. Se tiene además una variable aleatoria  $R(X, F)$  que depende de  $X$  y de la función desconocida  $F$ . Entonces se puede realizar una muestra aleatoria de tamaño  $n$  con reemplazo de la muestra de datos,  $x_1^*, x_2^*, x_3^*, \dots, x_n^*$  y a partir de esa muestra se puede calcular una observación de la variable aleatoria  $R^*(X^*, P^*)$ , donde  $F^*$  es la distribución de probabilidad de la muestra, que se construyó de tipo uniforme. Finalmente, se realizan más muestras y se calculan más valores de  $R^*$  para poder estimar la distribución  $R(X, F)$ .

La utilidad técnica de bootstrapping es que permite aproximar la distribución de alguna estadística de los datos de una forma fácil y rápida. Adicionalmente, no es necesario hacer una estimación paramétrica ni supuestos acerca de la distribución de los datos.

# Capítulo 5

## *Cálculo de la Reserva de Riesgos en Curso*

La valuación y constitución de la reserva de riesgos en curso deberá calcularse para un grupo homogéneo definido, correspondiente a un cierto subramo y tipo de seguro que la Compañía en cuestión tenga en su cartera. El proceso aquí descrito fué aplicado en la practica para grupos homogéneos correspondientes a los ramos de Gastos Médicos Colectivo y Salud Colectivo.

Para realizar los calculos es necesario identificar primero el número de asegurados en vigor al cierre del mes al momento de la valuación, el monto de prima correspondiente a los beneficios contratados, los gastos asociados y el periodo de cobertura de cada asegurado en vigor.

### **5.1. Cálculo del Bel de Riesgos en Curso**

El cálculo del Bel de Riesgo implica un análisis de las obligaciones futuras para los riesgos en curso con base en los siniestros que actualmente han sido reportados. Para ello se necesita la construcción de una matriz de desarrollo de siniestros de dimensiones  $(k \times s)$ , en la cual los siniestros se distribuyen por el trimestre en que se reporto cada uno de los procedimientos ocurridos respecto al inicio de vigencia de la póliza y consideramos montos netos de siniestralidad, es decir, no tomamos en cuenta el monto de deducible y copago a cargo del asegurado. La matriz queda de la siguiente manera:

- $X_{i,j}$  es el monto de siniestros de las pólizas con inicio de vigencia en el trimestre  $i$  que fue reportado  $j$  trimestres posteriores al inicio de vigencia.
- $k$  es el número de trimestres máximo observado en la experiencia de siniestros.

- $s$  es el número de trimestres de experiencia de inicio de vigencia.
- $i$  es el trimestre de inicio de vigencia de la póliza,  $i \in \{1, 2, 3, \dots, 12\}$
- $j$  es el trimestre en que se reportó el siniestro,  $j \in \{1, 2, 3, \dots\}$

Trimestre de inicio de vigencia de la póliza	Trimestre en que se reportó el procedimiento								
	0	1	2	...	j	...	k-2	k-1	k
1	$X_{1,0}$	$X_{1,1}$	$X_{1,2}$	...	$X_{1,j}$	...	$X_{1,k-2}$	$X_{1,k-1}$	$X_{1,k}$
2	$X_{2,0}$	$X_{2,1}$	$X_{2,2}$	...	$X_{2,j}$	...	$X_{2,k-2}$	$X_{2,k-1}$	
3	$X_{3,0}$	$X_{3,1}$	$X_{3,2}$	...	$X_{3,j}$	...	$X_{3,k-2}$		
4	$X_{4,0}$	$X_{4,1}$	$X_{4,2}$	...	$X_{4,j}$	...			
:									
i	$X_{i,0}$	$X_{i,1}$	$X_{i,2}$	...	$X_{i,j}$				
:									
s-2	$X_{s-2,0}$	$X_{s-2,1}$	$X_{s-2,2}$						
s-1	$X_{s-1,0}$	$X_{s-1,1}$							
s	$X_{s,0}$								

**Tabla 5.1:** Matriz de Siniestros

Una vez que se obtiene la matriz de siniestros, la usamos para generar una matriz de siniestros acumulados en la cual definimos  $Y_{i,j}$  como el monto de siniestros de la póliza con inicio de vigencia en el trimestre  $i$  reportados hasta el trimestre  $j$ :

$$y_{i,j} = \sum_{m=0}^j X_{i,m}$$

Donde:

- $X_{i,m}$  es el monto de siniestros de las pólizas con inicio de vigencia en el trimestre  $i$  que fue reportado  $m$  trimestres posteriores al inicio de vigencia.
- $i$  es el trimestre de inicio de vigencia de la póliza,  $i \in \{1, 2, 3, \dots, 12\}$
- $j$  es el trimestre en que se reportó el siniestro,  $j \in \{1, 2, 3, \dots\}$

- $m$  es el trimestre de acumulación,  $m \in \{0, 1, 2, \dots, j\}$ ,  $m \leq j \leq k$

Trimestre de inicio de vigencia de la póliza	Trimestre en que se reportó el procedimiento								
	0	1	2	...	j	...	k-2	k-1	k
1	$Y_{1,0}$	$Y_{1,1}$	$Y_{1,2}$	...	$Y_{1,j}$	...	$Y_{1,k-2}$	$Y_{1,k-1}$	$Y_{1,k}$
2	$Y_{2,0}$	$Y_{2,1}$	$Y_{2,2}$	...	$Y_{2,j}$	...	$Y_{2,k-2}$	$Y_{2,k-1}$	
3	$Y_{3,0}$	$Y_{3,1}$	$Y_{3,2}$	...	$Y_{3,j}$	...	$Y_{3,k-2}$		
4	$Y_{4,0}$	$Y_{4,1}$	$Y_{4,2}$	...	$Y_{4,j}$	...			
:									
i	$Y_{i,0}$	$Y_{i,1}$	$Y_{i,2}$	...	$Y_{i,j}$				
:									
s-2	$Y_{s-2,0}$	$Y_{s-2,1}$	$Y_{s-2,2}$						
s-1	$Y_{s-1,0}$	$Y_{s-1,1}$							
s	$Y_{s,0}$								

**Tabla 5.2:** Matriz de Siniestros Acumulados

Usando la matriz de siniestros acumulados obtenemos los factores de incremento  $f_j$ , los cuales indican el incremento dado de un trimestre a otro:

$$f_j = \frac{\sum_{i=1}^{s-j} Y_{i,j}}{\sum_{i=1}^{s-j} Y_{i,j-1}}, \quad \text{con } 0 < j \leq k \quad (5.1)$$

Donde  $Y_{i,j}$  representa el monto de siniestros de las pólizas con inicio de vigencia en el trimestre  $i$  reportados hasta el trimestre  $j$ , como se ve en (5.1)

Mediante estos factores de incremento, se definen los Siniestros Esperados para la vigencia  $i$  ( $SE_i$ ) como la estimación del monto de siniestros que serán reportados para las pólizas con inicio de vigencia en el trimestre  $i$ :

$$SE_i = Y_{s-i+1,i-1} \cdot \prod_{j=i}^k f_j, \quad \text{con } 0 < i \leq k$$

Donde  $Y_{s-i+1,i-1}$  representa el monto de siniestros de las pólizas con inicio de vigencia en el trimestre  $s - i + 1$  reportados hasta el trimestre  $i - 1$ , y  $f_i$  es el factor de incremento del trimestre  $j$ .

Definimos las obligaciones futuras iniciales de riesgos en curso ( $RRC^0$ ) como la diferencia entre los Siniestros Estimados y los Siniestros Acumulados observados:

$$RRC^0 = \sum_{i=s-k}^s SE_i - Y_{i,s-i}$$

Donde  $SE_i$  son los siniestros esperados para la vigencia  $i$ , y  $Y_{i,s-i}$  es el monto de siniestros de las pólizas con inicio de vigencia en el trimestre  $i$  reportados hasta el trimestre  $s-i$

Definimos  $Y_{i,j}^*$  como el monto ajustado de siniestros de las pólizas con inicio de vigencia en el trimestre  $i$  reportados hasta el trimestre  $j$ :

$$Y_{i,j-1}^* = \frac{Y_{i,j}^*}{f_j}$$

Con:

$$Y_{i,k-i+1}^* = Y_{i,k-i+1}$$

Donde  $Y_{i,j}$  es el monto de siniestros de las pólizas con inicio de vigencia en el trimestre  $i$  reportados hasta el trimestre  $j$ , y  $f_j$  es el factor de incremento del trimestre  $j$ .

Con estos montos obtenemos la matriz de siniestros acumulados ajustados mostrada en la tabla 5.1, partiendo del último dato observado.

Trimestre de inicio de vigencia de la póliza	Trimestre en que se reportó el procedimiento								
	0	1	2	...	j	...	k-2	k-1	k
1	$Y_{1,0}^*$	$Y_{1,1}^*$	$Y_{1,2}^*$	...	$Y_{1,j}^*$	...	$Y_{1,k-2}^*$	$Y_{1,k-1}^*$	$Y_{1,k}^*$
2	$Y_{2,0}^*$	$Y_{2,1}^*$	$Y_{2,2}^*$	...	$Y_{2,j}^*$	...	$Y_{2,k-2}^*$	$Y_{2,k-1}^*$	
3	$Y_{3,0}^*$	$Y_{3,1}^*$	$Y_{3,2}^*$	...	$Y_{3,j}^*$	...	$Y_{3,k-2}^*$		
4	$Y_{4,0}^*$	$Y_{4,1}^*$	$Y_{4,2}^*$	...	$Y_{4,j}^*$	...			
:									
i	$Y_{i,0}^*$	$Y_{i,1}^*$	$Y_{i,2}^*$	...	$Y_{i,j}^*$				
:									
s-2	$Y_{s-2,0}^*$	$Y_{s-2,1}^*$	$Y_{s-2,2}^*$						
s-1	$Y_{s-1,0}^*$	$Y_{s-1,1}^*$							
s	$Y_{s,0}^*$								

**Tabla 5.3:** Matriz de Siniestros Acumulados Ajustados

Y a partir de esta matriz de siniestros acumulados ajustados se obtiene una nueva matriz de montos  $X_{i,j}^*$ , que son los siniestros ajustados de las pólizas con inicio de vigencia en el trimestre  $i$  que fueron reportados  $j$  trimestres posteriores al inicio de vigencia:

$$X_{i,j}^* = Y_{i,j}^* - \sum_{m=0}^{j-1} X_{i,m}^*$$

Con:

$$X_{i,0}^* = Y_{i,0}^*$$

Donde  $Y_{i,j}^*$  es el monto ajustado de siniestros de las pólizas con inicio de vigencia en el trimestre  $i$  reportados hasta el trimestre  $j$ .

Trimestre de inicio de vigencia de la póliza	Trimestre en que se reportó el procedimiento								
	0	1	2	...	j	...	k-2	k-1	k
1	$X_{1,0}^*$	$X_{1,1}^*$	$X_{1,2}^*$	...	$X_{1,j}^*$	...	$X_{1,k-2}^*$	$X_{1,k-1}^*$	$X_{1,k}^*$
2	$X_{2,0}^*$	$X_{2,1}^*$	$X_{2,2}^*$	...	$X_{2,j}^*$	...	$X_{2,k-2}^*$	$X_{2,k-1}^*$	
3	$X_{3,0}^*$	$X_{3,1}^*$	$X_{3,2}^*$	...	$X_{3,j}^*$	...	$X_{3,k-2}^*$		
4	$X_{4,0}^*$	$X_{4,1}^*$	$X_{4,2}^*$	...	$X_{4,j}^*$	...			
:									
i	$X_{i,0}^*$	$X_{i,1}^*$	$X_{i,2}^*$	...	$X_{i,j}^*$				
:									
s-2	$X_{s-2,0}^*$	$X_{s-2,1}^*$	$X_{s-2,2}^*$						
s-1	$X_{s-1,0}^*$	$X_{s-1,1}^*$							
s	$X_{s,0}^*$								

**Tabla 5.4:** Matriz de Siniestros Ajustados

La diferencia del monto de siniestros observados (el monto original) y el monto de siniestros ajustado son los residuales brutos  $R_{i,j}$ :

$$R_{i,j} = X_{i,j} - X_{i,j}^*$$

Donde  $X_{i,j}^*$  es el monto de siniestros ajustados de las pólizas con inicio de vigencia en el trimestre  $i$  que fueron reportados  $j$  trimestres posteriores al inicio de vigencia, y  $X_{i,j}$  es el monto de siniestros de las pólizas con inicio de vigencia en el trimestre  $i$  que fueron reportados  $j$  trimestres posteriores al inicio de vigencia.

Generamos la matriz de Residuales de la siguiente manera:

Trimestre de inicio de vigencia de la póliza	Trimestre en que se reportó el procedimiento								
	0	1	2	...	j	...	k-2	k-1	k
1	$R_{1,0}$	$R_{1,1}$	$R_{1,2}$	...	$R_{1,j}$	...	$R_{1,k-2}$	$R_{1,k-1}$	$R_{1,k}$
2	$R_{2,0}$	$R_{2,1}$	$R_{2,2}$	...	$R_{2,j}$	...	$R_{2,k-2}$	$R_{2,k-1}$	
3	$R_{3,0}$	$R_{3,1}$	$R_{3,2}$	...	$R_{3,j}$	...	$R_{3,k-2}$		
4	$R_{4,0}$	$R_{4,1}$	$R_{4,2}$	...	$R_{4,j}$	...			
:									
i	$R_{i,0}$	$R_{i,1}$	$R_{i,2}$	...	$R_{i,j}$				
:									
s-2	$R_{s-2,0}$	$R_{s-2,1}$	$R_{s-2,2}$						
s-1	$R_{s-1,0}$	$R_{s-1,1}$							
s	$R_{s,0}$								

Tabla 5.5: Matriz de Residuales

Utilizamos el método de bootstrap, bajo el supuesto de que los residuales brutos  $R_{i,j}$  de la matriz provienen de la misma distribución y son independientes. Obtenemos el valor mínimo y máximo observado de cada columna  $j$  como el intervalo de residuales observado.

Entonces definimos a  $R_j^{\min}$  como el valor mínimo de los residuales observados en el trimestre reportado  $j$  y  $R_j^{\max}$  como el valor máximo de los residuales observados en el trimestre reportado  $j$ :

	Trimestre en que se reportó el procedimiento								
	0	1	2	...	j	...	k-2	k-1	k
Mínimo	$R_0^{\min}$	$R_1^{\min}$	$R_2^{\min}$	...	$R_j^{\min}$	...	$R_{k-2}^{\min}$	$R_{k-1}^{\min}$	$R_k^{\min}$
Máximo	$R_0^{\max}$	$R_1^{\max}$	$R_2^{\max}$	...	$R_j^{\max}$	...	$R_{k-2}^{\max}$	$R_{k-1}^{\max}$	$R_k^{\max}$

Con

$$R_j^{\min} = \min_{i \in \{1,2,\dots,s\}} [R_{i,j}]$$

$$R_j^{\max} = \max_{i \in \{1,2,\dots,s\}} [R_{i,j}]$$

Donde  $R_{i,j}$  es el residual bruto del trimestre de inicio de vigencia  $i$  reportado en el trimestre  $j$ .

Realizamos un muestreo con reemplazo de residuales tomando  $n$  muestras, de forma uni-



forme dentro del intervalo  $[R_j^{\min}, R_j^{\max}]$  de cada una de las columnas de reportado  $j$ .

Definimos  $R_{i,j}^*$  como el residual de la muestra de pólizas con inicio de vigencia en el trimestre  $i$  con trimestre de reporte  $j$ .

Generamos la matriz de residuales de la siguiente forma:

Trimestre de inicio de vigencia de la póliza	Trimestre en que se reportó el procedimiento								
	0	1	2	...	j	...	k-2	k-1	k
1	$R_{1,0}^*$	$R_{1,1}^*$	$R_{1,2}^*$	...	$R_{1,j}^*$	...	$R_{1,k-2}^*$	$R_{1,k-1}^*$	$R_{1,k}^*$
2	$R_{2,0}^*$	$R_{2,1}^*$	$R_{2,2}^*$	...	$R_{2,j}^*$	...	$R_{2,k-2}^*$	$R_{2,k-1}^*$	
3	$R_{3,0}^*$	$R_{3,1}^*$	$R_{3,2}^*$	...	$R_{3,j}^*$	...	$R_{3,k-2}^*$		
4	$R_{4,0}^*$	$R_{4,1}^*$	$R_{4,2}^*$	...	$R_{4,j}^*$	...			
:									
i	$R_{i,0}^*$	$R_{i,1}^*$	$R_{i,2}^*$	...	$R_{i,j}^*$				
:									
s-2	$R_{s-2,0}^*$	$R_{s-2,1}^*$	$R_{s-2,2}^*$						
s-1	$R_{s-1,0}^*$	$R_{s-1,1}^*$							
s	$R_{s,0}^*$								

**Tabla 5.6:** Matriz de Siniestros Simulados

Obtenemos así una matriz de siniestros simulada al agregar el residual obtenido a cada monto de siniestros ajustados.

Para esto definimos  $X_{i,j}^{sim}$  como el monto de siniestros simulado de las pólizas con inicio de vigencia en el trimestre  $i$  que fueron reportados  $j$  trimestres posteriores al inicio de vigencia:

$$X_{i,j}^{sim} = R_{i,j}^* + X_{i,j}^*$$

Donde  $R_{i,j}^*$  es el residual seleccionado en la muestra que corresponde a las pólizas con inicio de vigencia en el trimestre  $i$  con trimestre de reporte  $j$ , y  $X_{i,j}^*$  es el monto de siniestros ajustados de las pólizas con inicio de vigencia en el trimestre  $i$  que fueron reportados  $j$  trimestres posteriores al inicio de vigencia.

La matriz queda de la siguiente manera:

Trimestre de inicio de vigencia de la póliza	Trimestre en que se reportó el procedimiento								
	0	1	2	...	j	...	k-2	k-1	k
1	$X_{1,0}^{sim}$	$X_{1,1}^{sim}$	$X_{1,2}^{sim}$	...	$X_{1,j}^{sim}$	...	$X_{1,k-2}^{sim}$	$X_{1,k-1}^{sim}$	$X_{1,k}^{sim}$
2	$X_{2,0}^{sim}$	$X_{2,1}^{sim}$	$X_{2,2}^{sim}$	...	$X_{2,j}^{sim}$	...	$X_{2,k-2}^{sim}$	$X_{2,k-1}^{sim}$	
3	$X_{3,0}^{sim}$	$X_{3,1}^{sim}$	$X_{3,2}^{sim}$	...	$X_{3,j}^{sim}$	...	$X_{3,k-2}^{sim}$		
4	$X_{4,0}^{sim}$	$X_{4,1}^{sim}$	$X_{4,2}^{sim}$	...	$X_{4,j}^{sim}$	...			
:									
i	$X_{i,0}^{sim}$	$X_{i,1}^{sim}$	$X_{i,2}^{sim}$	...	$X_{i,j}^{sim}$				
:									
s-2	$X_{s-2,0}^{sim}$	$X_{s-2,1}^{sim}$	$X_{s-2,2}^{sim}$						
s-1	$X_{s-1,0}^{sim}$	$X_{s-1,1}^{sim}$							
s	$X_{s,0}^{sim}$								

Tabla 5.7: Matriz de Siniestros Acumulados Simulados

Ya que obtenemos esta matriz de siniestros simulada, generamos la matriz de siniestros acumulados simulados, obtenemos los factores de incremento simulados, estimamos los siniestros esperados simulados y calculamos los flujos de obligaciones futuras simuladas de riesgos en curso de la muestra  $i$  ( $RRC_i^{sim}$ ) mediante el proceso usado para la matriz original de siniestros.

Consideramos el mejor estimador de riesgos en curso ( $BELR_{RRC}$ ), como el valor medio de las  $n$  muestras de los flujos de obligaciones futuras simuladas de riesgos en curso.

$$BELR_{RRC} = \frac{\sum_{i=1}^n RRC_i^{sim}}{n}$$

Donde:

$RRC_i^{sim}$  = i-ésima simulación de los flujos de obligaciones futuras de riesgos en curso.

$n$  = número de simulaciones realizadas.

## 5.2. Cálculo del Bel de Gastos de Administración

El mejor estimador de la reserva de Gastos de Administración ( $BELG_{ADM}$ ) es el monto integrado por la suma de los Gastos de Administración no devengados de cada uno de los asegurados en vigor.

Se determinará como la porción correspondiente a los Gastos de Administración de la Prima de Tarifa de los asegurados de que se trate multiplicada por el Factor de No Devengamiento

$(F_{ND})$ .

Sea  $GELG_{ADM,ind}$ , el monto de los gastos de administración no devengado de cada asegurado:

$$BELG_{ADM,ind} = PT \cdot G_{ADM} \cdot F_{ND}$$

Donde:

$PT$  = Prima de tarifa

$G_{ADM}$  = Gasto de Administración

$F_{ND}$  = Factor de no devengamiento

Entonces el BEL para Gastos de Administración ( $BELG_{ADM}$ ) es:

$$BELG_{ADM} = \sum BEL_{ADM,ind}$$

### 5.3. Cálculo de la Prima de Riesgo No Devengada

La Prima de Riesgo No Devengada corresponderá al valor de la prima de riesgo multiplicada por el factor de no devengamiento correspondiente a la porción de tiempo de vigencia no transcurrido.

Para el cálculo de la Prima de Riesgo No Devengada, se determinará para cada uno de los asegurados en vigor, la Prima de Riesgo, que corresponde al costo esperado de la siniestralidad y es la porción de la prima de tarifa que debe destinarse para el pago de las reclamaciones por concepto de siniestros.

Sea la Prima de Tarifa ( $PT$ ):

$$PT = \frac{PR}{1 - G_{ADM} - C_{ADQ} - U}$$

Donde:

$PR$  = Prima de Riesgo

$G_{ADM}$  = Gasto de Administración

$C_{ADQ}$  = Costo de Adquisición

$U$  = Margen de Utilidad

Entonces:

$$PR = PT \cdot (1 - G_{ADM} - C_{ADQ} - U)$$

Una vez determinada la Prima de Riesgo, se calculará la Prima de Riesgo no Devengada de cada uno de los asegurados como la Prima de Riesgo multiplicada por el Factor de No Devengamiento.

El Factor de No Devengamiento  $F_{ND}$  es el factor que se utiliza para calcular la porción de tiempo de vigencia no transcurrido por cada asegurado en vigor.

Se define FND como el Factor de No Devengamiento, de tal forma que:

$$F_{ND} = \begin{cases} 0, & \text{si } FVal \geq FFin. \\ \frac{FFin - FVal}{FFin - FIni}, & \text{si } FIni \leq FVal \leq FFin \\ 1, & \text{si } FIni \geq FVal \end{cases}$$

Donde:

$FIni$  = Fecha de Inicio de cobertura para el asegurado

$FFin$  = Fecha de Fin de cobertura para el asegurado

$FVal$  = Fecha de Valuación

Entonces la Prima de Riesgo No Devengada ( $PRND_{ind}$ ) es:

$$PRND_{ind} = PR_{ind} \cdot F_{ND}$$

Donde

$F_{ND}$  = Factor de No Devengamiento de cada asegurado

$PR_{ind}$  = Prima de Riesgo de cada asegurado

Para las pólizas emitidas anticipadamente que, al momento de la valuación, no han iniciado vigencia, la prima de riesgo no devengada se calculará como:

$$PRND_{ind} = PT_{ind} - BELG_{ADM,ind}$$

Donde

$PT_{ind}$  = Prima de Tarifa de cada asegurado

$BELG_{ADM,ind}$  = Monto de los gastos de administración no devengado de cada asegurado

Sea  $PRND$  la prima de riesgo no devengada, esta se calculará como:

$$PRND = \sum PRND_{ind}$$

Donde:

$PRND_{ind}$  = Prima de riesgo no devengada de cada asegurado

## 5.4. Cálculo del Factor de Distribución

El Factor de Distribución permite prorratear el mejor estimador de riesgos en curso ( $BELR_{RRC}$ ) obtenido entre cada asegurado. El factor se obtiene comparando la Prima de Riesgo No Devengada de cada grupo homogéneo ( $PRND$ ) calculada con el  $BELR_{RRC}$  del mismo.

Sea  $FD$  el factor de distribución:

$$FD = \frac{BELR_{RRC}}{PRND}$$

Donde

$BELR_{RRC}$  = Mejor Estimador de riesgos en curso

$PRND$  = Prima de Riesgo No Devengada

## 5.5. Cálculo de la Reserva de Riesgos en Curso de cada Asegurado

La Reserva de Riesgos en Curso de cada uno de los asegurados en vigor se calculará como la Prima de Riesgo No Devengada de cada asegurado multiplicada por el Factor de Distribución

Sea  $BELR_{RRC,ind}$  el mejor estimador de riesgos en curso individual:

$$BELR_{RRC,ind} = PRND_{ind} \cdot FD$$

Donde:

$PRND_{ind}$  = Prima de Riesgo no Devengada de cada asegurado

$FD$  = Factor de Distribución

Entonces la Reserva de Riesgos en Curso de cada asegurado ( $RRC_{ind}$ ) es:

$$RRC_{ind} = BELR_{RRC,ind} + BELG_{ADM,ind}$$

Donde

$BELR_{RRC,ind}$  = Mejor estimador de riesgos en curso individual

$BELG_{ADM,ind}$  = Monto no devengado de Gastos de Administración de cada asegurado

Por lo tanto, la Reserva de Riesgos en Curso ( $RRC$ ) se calculará como:

$$RRC = \sum RRC_{ind}$$

Donde

$RRC_{ind}$  = Reserva de Riesgos en Curso de cada asegurado

# Apéndice A

## *Metodología codificada en R*

A continuación se presenta la Metodología descrita en este trabajo convertida a código de R. Se realiza con el fin de corroborar los resultados de la Metodología aplicada manualmente, así como facilitar las  $n$  simulaciones necesarias.

Instalamos los paquetes necesarios de R si no los tenemos

---

```
1  ## Instalamos los paquetes necesarios de R si no los tenemos
2  install.packages("ChainLadder")
3  install.packages("psych")
4
5  ## Referenciamos los paquetes instalados mediante las bibliotecas
6  library(ChainLadder)
7  library(psych)
8
9  ## Función Remove para limpiar la consola
10 rm(list=ls())
11
12
13
14 ### Definimos la función de Reservas RRC
15 SIMULACION_RRC <- function (MATRIX_INICIAL, n, archivo){
16
17     ### Definimos la dimensión de los triángulos de residuales iniciales
18     library(ChainLadder)
19     m=dim(MATRIX_INICIAL)[1]
20
21
22     ### Inicia el cálculo
23
24     ## La siguiente sección corresponde a la plantilla de Excel
25
26     ## Nombramos la función acumulativa de triángulos incrementales
27     ## Estos triángulos son nuestra matriz de siniestros
28     MATRIX_SIN_ACUM <- incr2cum(MATRIX_INICIAL)
29
30     ## Definimos los factores como indica el escrito
```

```

31 # Usando la matriz de siniestros acumulados obtenemos los factores de
    incremento
32 # fj, los cuales indican el incremento dado de un trimestre a otro:
33 FACTORES_J <- sapply(1:(m-1), function(i){
    sum(MATRIX_SIN_ACUM[c(1:(m-i)),
    i+1])/sum(MATRIX_SIN_ACUM[c(1:(m-i)), i]) } )
34
35 ## Mediante estos factores de incremento, se definen los Siniestros
    Esperados
36 ## para la vigencia i SEi como la estimación del monto de siniestros
    serán
37 ## reportados para las pólizas con inicio de vigencia en el trimestre i:
38 SIN_ESPERADOS <- cbind(MATRIX_SIN_ACUM, RVA = rep(0,m))
39 for (j in 1:m){
40   for(i in 1:m){
41     if(is.na(SIN_ESPERADOS[i,j])){
42       SIN_ESPERADOS[i,j] = SIN_ESPERADOS[i,(j-1)]*FACTORES_J[j-1]
43     }
44   }
45 }
46
47 # Definimos las obligaciones futuras iniciales de riesgos en curso RRCO
    como la
48 # diferencia entre los Siniestros Estimados y los Siniestros Acumulados
49 # observados:
50 for (i in 1:m){
51   SIN_ESPERADOS[i,(m+1)] = SIN_ESPERADOS[i,m]-SIN_ESPERADOS[i,(m-i+1)]
52 }
53
54 # Definimos Yi,j* como el monto ajustado de siniestros de las pólizas
55 # con inicio de vigencia en el trimestre i reportados hasta el
    trimestre j
56 # y con estos resultados obtenemos la matriz de siniestros acumulados
    ajustados
57 MATRIX_ACUM_AJUST = MATRIX_SIN_ACUM
58 for (i in 1:(m-1)){
59   for(j in 1:(m-i)){
60     MATRIX_ACUM_AJUST[i,(m-j-i+1)] =
        MATRIX_ACUM_AJUST[i,(m-j-i+2)]/FACTORES_J[m-i-j+1]
61   }
62 }
63
64 # Y a partir de esta matriz de siniestros acumulados ajustados se
    obtiene una
65 # nueva matriz de montos Xi,j*, que son los siniestros ajustados de las
66 # pólizas con inicio de vigencia en el trimestre i que fueron
    reportados j
67 # trimestres posteriores al inicio de vigencia:
68 MATRIX_SIN_AJ = cum2incr(MATRIX_ACUM_AJUST)
69
70 # La diferencia del monto de siniestros observados (el monto original)
    y el
71 # monto de siniestros ajustado son los residuales brutos Ri,j:

```



```

72 RESIDUAL = MATRIX_INICIAL - MATRIX_SIN_AJ
73
74 ## Definimos una nueva Matriz de n por m-1
75 SIMULACION_RESERVA=c()
76
77 ## INICIAMOS LAS n SIMULACIONES
78 for (k in 1:n){
79     # DEFINIMOS UNA MUESTRA DE RESIDUALES
80     MUESTRA_RESIDUALES = matrix(nrow=m, ncol=m)
81
82     ## Utilizamos el método de bootstrap, bajo el supuesto de que los
83     ## brutos $R_{i,j}$ de la matriz provienen de la misma distribución
84     ## independientes. Obtenemos el valor mínimo y máximo observado de
85     ## cada columna
86     ## j como el intervalo de residuales observado.
87     for(j in 1:m){
88         # Definimos Ri,j* como el residual de la muestra de pólizas con
89         # inicio de vigencia en el trimestre i con trimestre de reporte
90         # j.
91         MUESTRA_RESIDUALES[,j] =
92             t(runif(dim(RESIDUAL)[1],min=min(na.omit(RESIDUAL[,j])),
93                 max=max(na.omit(RESIDUAL[,j]))))
94         ##se elimina el rango de 10% de escenarios no observados
95     }
96
97     # Obtenemos así una matriz de siniestros simulada al agregar el
98     # residual
99     # obtenido a cada monto de siniestros ajustados.
100    # Para esto definimos Xi,j{sim} como el monto de siniestros
101    # simulado de
102    # las pólizas con inicio de vigencia en el trimestre i que fueron
103    # reportados
104    # j trimestres posteriores al inicio de vigencia:
105    SINIESTRO_SIM = MUESTRA_RESIDUALES + MATRIX_SIN_AJ
106
107    #generamos la matriz de siniestros simulada
108    MATRIX_SIN_SIM <- incr2cum(SINIESTRO_SIM)
109
110    ## Repetimos el proceso original
111
112    ## Definimos los factores como indica el escrito
113    # Usando la matriz de siniestros acumulados obtenemos los factores
114    # de incremento
115    # fj, los cuales indican el incremento dado de un trimestre a otro:
116    FACTOR_N_SIM <- sapply(1:(m-1), function(i){
117        sum(MATRIX_SIN_SIM[c(1:(m-i)),
118            i+1])/sum(MATRIX_SIN_SIM[c(1:(m-i)), i]) } )
119
120    ## Mediante estos factores de incremento, se definen los Siniestros
121    ## Esperados
122    ## para la vigencia i SEi como la estimación del monto de siniestros

```

```

    serán
112  ## reportados para las pólizas con inicio de vigencia en el
    trimestre i:
113  SIN_ESP_N_SIM <- cbind(MATRIX_SIN_SIM, RVA = rep(0,m))
114  for (j in 1:m){
115    for(i in 1:m){
116      if(is.na(SIN_ESP_N_SIM[i,j])){
117        SIN_ESP_N_SIM[i,j] =
          SIN_ESP_N_SIM[i,(j-1)]*FACTOR_N_SIM[j-1]
118      }
119    }
120  }
121
122  # Definimos las obligaciones futuras iniciales de riesgos en curso
    RRCO como la
123  # diferencia entre los Siniestros Estimados y los Siniestros
    Acumulados
124  # observados:
125  for (i in 1:m){
126    SIN_ESP_N_SIM[i,(m+1)] =
      SIN_ESP_N_SIM[i,m]-SIN_ESP_N_SIM[i,(m-i+1)]
127  }
128
129  ## VALOR DE LA RESERVA
130  SIMULACION_RESERVA[k]=sum(SIN_ESP_N_SIM[,m+1])
131
132
133  }
134
135  # Obligaciones Futuras Iniciales de Riesgos en Curso inicial
136  RRC_INICIAL=sum(SIN_ESPERADOS[,m+1])
137
138  # Media de las n simulaciones de Obligaciones Futuras Iniciales de
    Riesgos en Curso
139  RRC_MEDIA=mean(SIMULACION_RESERVA)
140
141
142  ## Resultados tex de la funcion
143  write.table (SIMULACION_RESERVA, file = paste("RRC_N_SIM_", archivo,
    ".txt", sep=""), quote = FALSE, sep = "\t", eol = "\n", dec = ".",
    row.names = FALSE, col.names = FALSE)
144  print(paste("RRC_N_SIM_", archivo, ".txt", sep=""))
145
146  write.table (c(RRC_INICIAL=RRC_INICIAL, media=RRC_MEDIA), file =
    paste("RRC_INICIAL_MEDIA", archivo, ".txt", sep=""), quote = FALSE,
    sep = "\t", eol = "\n", dec = ".", row.names = FALSE, col.names =
    FALSE)
147  print(paste("RRC_INICIAL_MEDIA", archivo, ".txt", sep=""))
148
149  print("FIN DE LA FUNCION")
150
151
152  return(list(SIMULACION_RESERVA, c(RRC_INICIAL=RRC_INICIAL,

```

```
        media=RRC_MEDIA)))  
153  
154 }  
155  
156  
157  
158 TRIANGULO_SINIESTROS_CSV<-read.csv("D:/RESPALDO/Tesis Chris/Triangulo  
    Siniestros Prueba.csv")  
159  
160 RESULTADO_RRC<-SIMULACION_RRC(TRIANGULO_SINIESTROS_CSV, 100000,  
    "TRIANGULO_SINIESTROS_CSV")
```

---



## Bibliografía

1. (1935). Definición de Contrato de Seguro. *Ley Sobre el Contrato del Seguro*. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/70173/Ley\\_Sobre\\_el\\_Contrato\\_de\\_Seguro.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/70173/Ley_Sobre_el_Contrato_de_Seguro.pdf).
2. (2013a). Definición de Institución de Seguros. *Ley de Instituciones de Seguros y Fianzas*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cnsf/documentos/leyes-y-reglamentos-25281?state=draft>.
3. (2013b). Ley de Instituciones de Seguros y de Fianzas. *Portal oficial del Senado de la República*. Obtenido de [https://www.senado.gob.mx/comisiones/finanzas\\_publicas/docs/LISF.pdf](https://www.senado.gob.mx/comisiones/finanzas_publicas/docs/LISF.pdf).
4. (2015). Solvencia II. *El Economista*, 31 de marzo de 2015. Obtenido de <https://www.eleconomista.com.mx/sectorfinanciero/En-puerta-nueva-ley-de-seguros-20150331-0075.html>.
5. (2017). Circular Única de Seguros y Fianzas (CUSF). *Informe de Actividades Profesionales*, Jair Salamanca Marín. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
6. (2019a). Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros. *Portal oficial de la AMIS*. Obtenido de <https://sitio.amis.com.mx/>.
7. (2019b). R. *Revista Digital, UNAM, ¿Qué puede hacer el software R para resolver tus problemas?* Obtenido de <https://www.revista.unam.mx/2019v20n3/que-puede-hacer-el-software-r-para-resolver-tus-problemas/>.
8. (2020a). Circular Única de Seguros y de Fianzas. *Portal oficial de la CNSF*. Circular Única De Seguros Y Fianzas Compulsada Sin Anexos Actualizada Al 31-Mar-2020, obtenido de

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/607869/Circular\\_\\_nica\\_de\\_Seguros\\_y\\_Fianzas\\_compulsam-mar-2020\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/607869/Circular__nica_de_Seguros_y_Fianzas_compulsam-mar-2020_.pdf).

9. (2020b). El Seguro. *¿Qué es el Seguro?* Obtenido de <https://www.datos.gob.mx/busca/organization/about/shcp>.
10. (2020c). SHCP. *SHCP*. Obtenido de <https://segurosypensionesparatodos.fundacionmapfre.org/syp/es/seguros/seguro-asegurar/el-seguro/>.
11. (2021a). CAPÍTULO TERCERO DE LAS RESERVAS TÉCNICAS. *Ley de Instituciones de Seguros y de Fianzas*. Obtenido de [https://www.cnsf.gob.mx/CUSFELECTRONICA/LISF/LISF\\_5\\_3\\_S1](https://www.cnsf.gob.mx/CUSFELECTRONICA/LISF/LISF_5_3_S1).
12. (2021b). Circular Única de Seguros y de Fianzas. *Portal oficial de la CNSF, Documentos*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cnsf/documentos/circular-unica-de-seguros-y-fianzas?state=draft>.
13. (2021c). Comisión Nacional de Seguros y Fianzas. *¿Qué hacemos?* Obtenido de <https://www.gob.mx/cnsf/que-hacemos>.
14. Dr. Gabriel Núñez Antonio (2010). Metodo Bootstrap. *ACTUARIOS TRABAJANDO: Revista Mexicana de Investigación Actuarial Aplicada*. Obtenido de [https://www.conacmexico.org.mx/images/upload/2016/03/ActuariosTrabajando\\_2010Num5.pdf](https://www.conacmexico.org.mx/images/upload/2016/03/ActuariosTrabajando_2010Num5.pdf).
15. Miguel Juárez Hermosillo (1996). Chain-Ladder. *Un Modelo Bayesiano para el Cálculo de Reservas de Siniestros Ocurridos y No Reportados, Método Chain Ladder*. Obtenido de [http://www.cnsf.gob.mx/Eventos/Premios\\_2014/1996\\_3er\\_lugar.pdf](http://www.cnsf.gob.mx/Eventos/Premios_2014/1996_3er_lugar.pdf).