



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: Actuarial

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^{er} Suplente:

Dr. Tejeda Rodríguez, Emilio

Correo: etejeda@astro.unam.mx

Institución de adscripción: Instituto de Astronomía, UNAM

2^{do} 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 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXx

A XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXx

Índice general

Prefacio	1
1. Introducción	3
1.1. Instituciones de Seguros	3
1.2. Contrato de Seguro	3
1.3. Reserva Técnica	4
1.4. Comisión Nacional de Seguros y Fianzas	4
1.5. Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros	5
2. Marco Regulatorio y Herramientas utilizadas	7
2.1. Circular Única de Seguros y Fianzas	7
2.2. Ley de Instituciones de Seguros y de Fianzas	8
2.3. Solvencia II	8
2.4. R	9
3. Metodología	11
3.1. Método Chain Ladder	11
3.2. Bootstrapping	11
4. Cálculo de la Reserva de Riesgos en Curso	13
4.1. Cálculo del Bel de Riesgos en Curso	13
4.2. Cálculo del Bel de Gastos de Administración	21

4.3. Cálculo de la Prima de Riesgo No Devengada	22
4.4. Cálculo del Factor de Distribución	25
4.5. Cálculo de la Reserva de Riesgos en Curso de cada Asegurado	26
5. Aplicación Práctica del Método	29
A. Constricciones en simetría esférica	31
Bibliografía	33

Prefacio

En este trabajo se tiene como objetivo abordar los componentes que conforman la valuación de la Reserva de Riesgos en Curso, la cual es la parte más esencial de la Reserva Técnica de una Compañía Aseguradora, así como mencionar 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

En este capítulo se introduce brevemente el concepto de lo que es una Compañía Aseguradora, la Reserva Técnica, y lo que son los Organismos Supervisores como son: la Comisión Nacional de Seguros y Fianzas y la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros.

1.1. 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 seguros¹.

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 previsto².

1.2. 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 contrato³.

¹Ver (2013a), Artículo 2 Sección XVI

²Ver (2020b), Fundación Mapfre, El Seguro

³Ver (1935), Artículo 1

1.3. 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 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 seguros⁴.

1.4. 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

⁴Ver (2021a), Artículo 217 y 218

la cobertura de sus servicios a la mayor parte posible de la población⁵.

1.5. 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 asociados⁶.

⁵Ver (2021c)

⁶Ver (2019a)

Capítulo 2

Marco Regulatorio y Herramientas utilizadas

La Ley de Instituciones de Seguros y de Fianzas fue publicada en el Diario Oficial de la Federación del 4 de Abril de 2013, en la cual establece en el artículo 219 que las Instituciones de Seguros deberán registrar ante la Comisión Nacional de Seguros y Fianzas los métodos actuariales con base en sus estimaciones para la Reserva de Riesgos en Curso⁷, 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 el 19 de diciembre de 2014⁸.

2.1. 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 operaciones⁹. El 19 de

⁷Ver (2019a), Artículo 219

⁸Ver (2020a)

⁹Ver (2021b)

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.

2.2. 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 financieros¹⁰. Esta ley está basada en el modelo europeo de Solvencia II.

2.3. Solvencia II

Esquema regulatorio que se distingue principalmente en que las compañías aseguradoras cuenten con las suficientes reservas para enfrentar cualquier riesgo y cumplir con sus clientes, teniendo como propósito establecer el conjunto revisado de requerimientos de capital, reservas técnicas, estándares de administración de riesgos y mecanismos de revisión. Este modelo tiene como objetivo ayudar a reducir las posibilidades de pérdidas para los consumidores, así como los trastornos en la operación del mercado de seguros¹¹. Contempla fundamentalmente 3 pilares: Pilar 1: requerimientos de capital con un nivel de confianza del 99.5% y que considere todos los riesgos, modelo interno y modelo estándar. Pilar 2: establecimiento de un gobierno corporativo que rijan: administración de riesgos; función actuarial; auditoría interna y control

¹⁰Ver (2013b), Artículo 1

¹¹Ver (2015)

interno. Pilar 3: disciplina de mercado. Esta nueva regulación se presenta dentro del proceso de reforma y modernización del sistema financiero mexicano y se busca ampliar el acceso de los mexicanos a los servicios de aseguramiento y afianzamiento bajo mejores condiciones. Asimismo le permite a los sectores asegurador y afianzador mejorar su gestión de riesgos obteniendo mejores beneficios en la determinación de su capital¹².

2.4. 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 alguno¹³.

¹²Ver (2017)

¹³Ver (2019b)

Capítulo 3

Metodología

3.1. 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 estacional¹⁴.

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.

3.2. 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

¹⁴Ver Miguel Juárez Hermosillo (1996), 1.2.1 Método Chain-Ladder

que se basa en los datos observados¹⁵.

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.

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 $R^*(X^*, F^*)$, 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.

¹⁵Ver Dr. Gabriel Núñez Antonio (2010), p.11

Capítulo 4

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.

4.1. 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	$X_{s,0}$								

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	$Y_{s,0}$								

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

$$f_j = \frac{\sum_{i=1}^{s-j} Y_{i,j}}{\sum_{i=1}^{s-j} Y_{i,j-1}}, \quad \text{con } 0 < j \leq k \quad (4.1)$$

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 (4.1)

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 4.1, partiendo del último dato observado.

Y a partir de esta matriz de siniestros acumulados ajustados se obtiene una nueva matriz de

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 4.1: Ejemplo

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 .

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 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	$X_{s,0}^*$								

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	$R_{s,0}$								

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 uniforme 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	$R_{s,0}^*$								

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	$X_{s,0}^{sim}$								

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.

4.2. 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:

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

4.3. 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.

Sea FND el Factor de No Devengamiento, entonces:

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

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

4.4. 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

4.5. 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

Capítulo 5

Aplicación Práctica del Método

Apéndice **A**

Constricciones en simetría esférica

hola mundo

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.
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.
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_compulsada_mar-2020_.pdf.
9. (2020b). El Seguro. *¿Qué es el Seguro?* Obtenido de <https://segurosypensionesparatodos.fundacionmapfre.org/syp/es/seguros/definicion-seguro-asegurar/el-seguro/>.
10. (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.
11. (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>.
12. (2021c). Comisión Nacional de Seguros y Fianzas. *¿Qué hacemos?* Obtenido de <https://www.gob.mx/cnsf/que-hacemos>.
13. 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.
14. 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%203er.%20lugar.pdf).